



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de CC e Ing. Materiales e Ing. Química

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO  
DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA**



**Autor: Susana Gómez Muñoz**  
**Tutor: Antonio Aznar Jiménez**

Leganés, 31 de Octubre de 2012



**Título:** Diseño, construcción y puesta a punto de un biodigestor tubular.

Carazo - Nicaragua

**Autor:** Susana Gómez Muñoz

**Tutor:** Antonio Aznar Jiménez

### EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
De 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de  
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

## Agradecimientos

*Con este proyecto concluye una larga travesía. Horas de clase, de estudio, de nervios y de incertidumbre, pero también horas de retos, de superación, de aprendizaje y de tenacidad. Han sido muchas las dificultades con las que he tenido que lidiar para llegar hasta aquí, pero en todas y cada una de ellas, ha habido una lección, algo que aprender y que me ha hecho ser quien soy hoy, como profesional y como persona.*

*Hoy me siento feliz y agradecida.*

*Agradecida a la AECID, por poner los medios económicos para hacer realidad uno de mis sueños, el sentir la satisfacción de utilizar mis conocimientos como ingeniera para mejorar en la medida de lo posible, la vida de quienes no tienen tantas facilidades.*

*Agradecida a Trinidad Acebedo y a su familia, por ceder su finca para que este biodigestor existiera, por el apoyo constante y por creer en el biodigestor desde el principio.*

*Agradecida a la UNAN-FAREM de Carazo, a los profesores René y Orbelith, que además de darme apoyo técnico, me cuidaron como a una hija más, abriéndome las puertas de su familia y de su casa. Estaré por siempre agradecida.*

*Agradecida al rector de la Universidad, Don Pedro, por su buena disposición desde el primer momento. A la señorita Conny, por hacérmelo todo tan fácil, por cuidarme como a una hermana y por su sonrisa perpetua. Qué suerte el haberte conocido.*

*Agradecida a la Universidad Carlos III, que me ha dado la oportunidad de demostrarme a mi misma y al mundo, que no hay límites. Que la calidad educativa no está reñida con un profesorado cercano al alumno. Y que con trabajo constante y voluntad, todo es posible.*

*Agradecida a mis amigos. A los de siempre, sabéis quienes sois, y a los últimos en llegar. A todos los que han pasado por mi vida y a los que hoy forman parte de ella. Porque todos, seguro alguna vez, han tenido palabras de ánimo, en esos momentos en los que seguir adelante se hacía cuesta arriba.*

*Agradecida a mis profesores, porque todos ellos han contribuido a hacer de mí la profesional que soy hoy, y en especial, a uno, a Paco, o mejor dicho, Vareta, mi profesor de física del colegio, con el que descubrí que la ciencia era lo mío. Gracias Paco.*

*Agradecida a mi familia. A mis padres, a mi hermana. Por ser mi apoyo incondicional. Albita, gracias por la ternura y la admiración con la que escuchas mis consejos. Mamá, gracias por creer en mí y hacérmelo creer.*

*Papá, gracias por el coraje que me infundes con tus palabras, por animarme siempre a ir un paso más allá y no temer a lo desconocido. A toda mi familia, por creer en mí. Y en especial, a mi abuelo Ángel, porque era mi fan número uno, porque sus ojos se llenaban de orgullo cada vez que me veía "estudiando, siempre sentadita frente a mi mesa". Abuelo, desde dónde estés, esto es para ti.*

*Y por último, agradecida a todos aquellos que han hecho posible que este proyecto se hiciera realidad. A los "gominolos", en especial a Denisse, por abrirme sin condición las puertas de tu vida y de tu familia aquel 21 de Octubre de 2011. A doña Nora y a Gemita, por cuidarme, escucharme, ser mi mamá y mi hermana nicaragüenses. Por todas las risas, y algunos llantos en la inolvidable casa verde. Por los consejos y por el amor que me disteis desde el primer día.*

*Y desde el lado español, a Antonio Aznar, mi tutor y cuidador en la distancia mientras estaba en Nicaragua. Por estar siempre al otro lado del skype, da igual si de noche o en fin de semana. Por confiar en mí, y por darme calma en los momentos de crisis, que por desgracia hubo unos cuantos. Parafraseo aquello que me dijiste un día de esos más grises de lo habitual: "La oscuridad hace más bonita la luz". Qué razón tienes. Antonio, ha sido un placer aprender de tu mano.*

*He aprendido mucho, muchísimo en el camino hasta aquí. Me siento afortunada por haber elegido como profesión la Ingeniería Industrial y hacer de ello mi modo de vida. Lo volvería a repetir. Pero sobre todo, me siento afortunada y agradecida a la vida por las personas con las que he compartido y comparto mi vida. Sin todas esas personas que nombro arriba, lo que hoy celebramos, no hubiera sido posible.*

*Espero seguir cosechando éxitos y celebrándolos a vuestro lado, porque aún hay mucho por recorrer...*

*Gracias por creer en mí.*





## Resumen

El proyecto que se describe en esta memoria fue realizado en Jinotepe (Nicaragua), entre los meses de Octubre de 2011 y Febrero de 2012.

Financiado por la AECID y dentro del acuerdo marco entre la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) y la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), este proyecto se considera un vehículo de transmisión de conocimiento y colaboración entre los estudiantes de ambas Universidades.

Tiene dos objetivos principales. El primero de ellos, diseñar, construir y poner en funcionamiento un biodigestor tubular de bolsa; y el segundo, con fines didácticos, dejar constancia de todo el proceso de construcción y generación de biogás, para que los estudiantes de la UNAN-FAREM de Carazo, implementen el biodigestor y lo tomen como punto de partida para futuras investigaciones.

Un requisito imprescindible, era la construcción del mismo con materiales locales y utilizando, los recursos tanto técnicos como económicos, con los que contaría un estudiante de la UNAN. El propósito era reproducir fielmente las dificultades a las que se enfrentaría un habitante nicaragüense que quisiera utilizar esta tecnología. De este modo, se desarrolló y se puso en funcionamiento un biodigestor con una "tecnología apropiada", que requiere una baja inversión de capital, con materiales adquiridos en la región, sin complejidad técnica y que el habitante nicaragüense puede reproducir, controlar y mantener, haciéndola parte de su vida cotidiana.

Además del proceso constructivo, se llevaron a cabo, diferentes experimentos y toma de datos, en los laboratorios de la UNAN-FAREM Carazo y en las inmediaciones del biodigestor, con el objetivo de conseguir la máxima eficiencia en la etapa inicial de producción de gas y de aportar datos empíricos recogidos durante el proceso de digestión.

Este documento busca ser un vehículo de información que facilite a los estudiantes de la UNAN la reproducción e implementación de esta tecnología, para que en un futuro, esperemos no muy lejano, los habitantes nicaragüenses se beneficien de ella y resuelvan o al menos mitiguen, problemas como la insalubridad derivada de una gestión ineficiente de los excrementos animales, la tala descontrolada de los bosques, la independencia energética o los problemas respiratorios, que sufren en su mayoría las mujeres, por inhalación de humo procedente de la combustión de la madera para cocinar los alimentos.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA





## Abstract

This project was carried out in Jinotepe (Nicaragua) from October 2011 to February 2012.

It was sponsored by the AECID and included in the agreement signed by Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) and Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN). It is considered a vehicle to convey knowledge and a way of collaboration between students from both universities.

There are two main goals. The first one regarding to the design, construction and kick off a plastic tubular bag biodigester and the second one, from a didactic approach, for the students of the UNAN-FAREM Carazo, in order to be the first step for future research studies.

The biodigester had to be built with materials from the region and with the same resources that an average student from the UNAN is exposed. The purpose was reproducing in the most realistic way, all the difficulties that the locals had to deal in case they wanted to use this technology, considered an appropriate technology due to the low capital investment, materials from the region, no technical complexity and something easy to copy, control and maintain by the locals, who make it part of their daily life.

Apart of the construction process, different experiments and data gathering took place in the laboratories of the university in Carazo and the surroundings of the biodigester, in order to reach the maximum efficiency during the first stage of the biogas production and to gather empiric data during the process.

This document tries to be an information vehicle for the students to make easier the reproduction and implementation of this technology. For being a benefit for the Nicaragua population and to help them to solve or at least mitigate, healthy problems related with the inefficient management of the animal waste, the uncontrolled felling of trees, the energetic sufficiency or respiratory problems suffered mainly by women while cooking because of the smoke from the wooden combustion.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA





## 1. Índice General

Agradecimientos .....	3
Resumen .....	5
Abstract.....	7
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	15
1.1.-Introducción .....	15
1.2.-Objetivos y sub-objetivos .....	16
1.3.-Fases del desarrollo .....	16
1.4.-Medios .....	17
1.5.-Esquema de la memoria .....	17
2. INTRODUCCIÓN TÉCNICA.....	19
2.1.-Definición de biodigestión y biogas .....	19
2.2.-Obtención de biogás. Proceso de digestión anaerobia .....	19
2.2.1.- Etapas de la digestión anaerobia .....	21
2.2.2.- Bacterias metanogénicas.....	22
2.2.3.-Ejemplos de procesos de digestión anaerobia. ....	23
2.3.- PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	23
2.4.- FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	24
2.4.1.- Temperatura .....	24
2.4.2.- pH .....	26
2.4.3.- Alcalinidad .....	26
2.4.4.- Tiempo de retención hidráulico.....	27
2.4.5.- Velocidad de carga orgánica .....	28
2.4.6.- Composición materia orgánica .....	28
2.4.7.-Nutrientes.....	28
2.4.8.- DBO/DQO (Cantidad de materia orgánica).....	29
2.4.9.- Contenido en sólidos totales .....	30
2.4.10.- Agentes promotores e inhibidores de la fermentación.....	31
2.5.- BIODIGESTORES .....	32
2.5.1.- Breve reseña histórica .....	32
2.5.2.-Definición de biodigestor.....	33
2.5.3.- Tipos de biodigestores.....	33
2.5.4.- Componentes de un biodigestor .....	35
2.5.5.- Usos del biogas .....	35
3. INTRODUCCIÓN SITUACIONAL.....	37
3.1.- NICARAGUA .....	37
3.1.1.-Breve reseña histórica .....	38
3.2.-COOPERACIÓN INTERNACIONAL AL DESARROLLO .....	39
3.2.1.-Introducción a la cooperación. Definición. ....	39
3.2.2.-Países en vías de desarrollo .....	39
3.2.3.-Historia de la cooperación internacional.....	40
3.2.4.-Cooperación Española .....	41
3.2.5.-Cooperación española en Nicaragua .....	42



4.	ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LOS OBJETIVOS DE COOPERACIÓN .....	45
4.1.-	INTRODUCCIÓN .....	45
4.2.-	BIODIGESTORES FAMILIARES EN NICARAGUA.....	45
4.3.-	DEFINICIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA .....	46
4.4.-	FACTORES GEOGRÁFICOS .....	46
4.5.-	FACTORES SOCIALES .....	47
4.6.-	FACTORES AMBIENTALES .....	48
4.7.-	FACTORES ECONÓMICOS.....	49
5.	FASES DEL DESARROLLO DEL BIODIGESTOR FAMILIAR DE BOLSA EN JINOTEPE ....	51
5.1.-	CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE CARAZO Y EL MUNICIPIO DE JINOTEPE ..	51
5.1.1.-	Información general de la región de Carazo .....	51
5.1.2.-	Información general municipio de Jinotepe .....	52
5.1.3.-	Clima .....	52
5.1.4.-	Situación social .....	52
5.2.-	ENSAYOS PREVIOS EN EL LABORATORIO DE LA UNAN-FAREM DE CARAZO: MODELO TEÓRICO DE BIODIGESTOR.....	53
5.2.1.-	Introducción.....	53
5.2.2.-	Estructura del modelo .....	53
5.2.3.-	Objetivos del modelo.....	54
5.2.4.-	Datos de entrada y salida del modelo .....	55
5.2.5.-	Análisis de los datos de entrada y salida .....	55
5.3.-	DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	55
5.3.1.-	Descripción de la finca y del ganado .....	55
5.3.2.-	Obtención y accesibilidad de los materiales.....	55
5.3.3.-	Lista de materiales.....	56
5.3.4.-	Lista de herramientas .....	57
5.3.5.-	Presupuesto .....	57
5.4.-	PROCESO CONSTRUCTIVO .....	58
5.4.1.-	Cálculos.....	58
5.4.2.-	Construcción. Paso a paso. ....	59
5.4.3.-	Consejos útiles .....	71
5.5.-	Particularidades .....	73
5.6.-	Protección de la zona de trabajo .....	74
5.7.-	Puesta en marcha .....	74
6.	RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	77
6.1.-	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	77
6.2.-	RECOGIDA DE DATOS.....	78
7.	CONCLUSIONES.....	79
7.1.-	CONCLUSIÓN GENERAL .....	79
7.2.-	LECCIONES APRENDIDAS .....	79
8.	ANEXOS.....	83
	ANEXO 1: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	83
	ANEXO 2: PRODUCCIÓN DE GAS. BIODIGESTOR MODELIZADO EN LABORATORIO...	84
	ANEXO 3: PROPORCIÓN ÓPTIMA DE AGUA Y ESTIÉRCOL .....	85
	ANEXO 4: PRIMERA CARGA (22.12.2011) .....	86
	ANEXO 5: SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DEL BIODIGESTOR .....	87

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



ANEXO 6: PRODUCCIÓN DE BIOGAS. MANÓMETRO CASERO. ....	88
ANEXO 7: PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DEL COMPOST .....	90
ANEXO 8: PODER CALORÍFICO .....	91
ANEXO 9: EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN (GRÁFICAMENTE) .....	93
9. REFERENCIAS .....	96



## Índice de figuras

---

Figura 1: Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos.

Fuente: CIEMAT

Figura 2: Composición porcentual de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> del biogás.

Fuente: Duque D C A, Galeano U C H y Mantilla G J M 2006: Evaluación de un digestor tipo "Plug Flow". *Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article #49*

Figura 3: Usos del biogas. Empresa tecnológica AITA, SC 2012

(<http://dev.aitasc.com/http://dev.aitasc.com/uncategorized/el-biogas-energia-obtenida-en-los-sistemas-de-aita/#more-257>, abril 2012)

Figura 4 : Rango de temperaturas de la digestión anaerobia

Fuente : Documentación para capacitación en biodigestores de los estudiantes de la UNAN-FAREM Carazo. Profesora Orbelith Murillo.

Figura 5: Esquema de los cuatro pasos de la digestión anaerobia [FNR, 2008]

Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNRSchulungsprojekt "Biogas", bearbeitet durch den Fachverband Biogas e.V. und das KTBL mit finanzieller Förderung durch das BMELV, 2008. Manual sobre directrices de operatividad, autores Dr. Claudius da Costa Gomez, Gepa Porsche, Gerhard Heldwein, GBA.

Figura 6: Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas P<sub>v</sub> (m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> dig·día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico

Fuente: Biomasa: digestores anaerobios, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ministerio de Industria, turismo y comercio. Octubre 2007.

Figura 7: Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (OLR).

Fuente: Biomasa: digestores anaerobios, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ministerio de Industria, turismo y comercio. Octubre 2007.

Figura 8: Producción de biogas en función del sustrato

Fuente : Documentación para capacitación en biodigestores de los estudiantes de la UNAN-FAREM Carazo. Profesora Orbelith Murillo.

Figura 9. Biodigestor tipo chino (izquierda). Biodigestor tipo hindú (derecha)

Fuente: <http://www.rmr-peru.com/biodigestores-biogas.htm>

Figura 10: Modelo de biodigestor tubular (Lansing et al., 2008)

Figura 11: Mapa de Nicaragua. Fuente: AECID

Figura 12: Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub>. Fuente: The World Bank

Figura 13: Mapa Nicaragua Fuente Google earth, 9 de Abril de 2012]

Figura 14. Volumen del biodigestor

Figura 15. Volumen de mezcla en el biodigestor

Figura 16. Manómetro casero



## Índice de tablas

---

Tabla 1: Composición biogás (Werner et al, 1989)

Tabla 2: Sustratos y contenidos en SV y ST. (El biogás, 1986)

Tabla 3: Distintos posibles sustratos con sus respectivos contenidos secos y húmedos. (El biogás, 1986)

Tabla 4: Concentración inhibidora de tóxicos comunes (FAO, 1986)

Tabla 5: Equivalencias poder calorífico del biogas. (Documentación para capacitación en biodigestores de los estudiantes de la UNAN-FAREM Carazo. Profesora Orbelith Murillo)

Tabla 6: Tabla de emigración y pobreza. (INEC, proyecciones de población en base al censo de 1995)

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA





# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

## 1.1.-Introducción

Este documento pretende divulgar una tecnología apropiada, como son los biodigestores, entre las personas interesadas, tanto en su diseño como en su instalación y manejo.

Los proyectos de Biogás-Energía están reconocidos como fuentes de energía renovable, y respaldarían la demanda de energía en caso de que los precios de los combustibles fósiles se incrementaran inesperadamente.

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en escala humana.

Como energías Renovables no Convencionales (ERNC) se consideran la pequeña hidráulica, la energía eólica, la solar, la geotérmica, la de los océanos y la derivada de la biomasa, ya sea a partir de su incineración directa o a través de la producción de biogás. Dado que el aprovechamiento de las ERNC depende de variables económicas, medioambientales y tecnológicas, es indispensable conocer e implementar instrumentos de apoyo directo a iniciativas de inversión en ERNC, focalizados en la mitigación de las barreras específicas que limitan el desarrollo de cada tipo de ERNC. El estímulo al desarrollo de las energías renovables no convencionales, es una estrategia tanto para aumentar la seguridad de suministro – diversifica las fuentes de generación, y reduce la dependencia externa – como para el desarrollo sustentable del sector energía, ya que tienen menores impactos ambientales que las formas tradicionales de generación eléctrica.[1]

Con este proyecto se perseguía un doble objetivo, no sólo la consecución y éxito del mismo en términos constructivos, sino también, un objetivo didáctico, para los alumnos de la UNAN-FAREM de Carazo, que tomarán este estudio como la base o el inicio de proyectos futuros.

La memoria del proyecto que tiene el lector en sus manos, se desarrolló en Nicaragua, gracias a la financiación de la AECID y dentro del proyecto marco entre la Universidad Carlos III de Madrid y la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, entre los meses de Octubre de 2011 y Febrero de 2012.



## 1.2.-Objetivos y sub-objetivos

El objetivo general del estudio es diseñar, construir, poner en funcionamiento y valorar el rendimiento de la producción de biogás de un biodigestor de bolsa, construido con materiales accesibles en el área de Jinotepe, de muy bajo presupuesto, y con autonomía energética suficiente para proporcionar gas durante una media de cinco horas diarias, que es lo que requiere aproximadamente una familia de 4-5 miembros en Nicaragua.

Dentro de los objetivos específicos:

- Diseñar el biodigestor según las condiciones técnicas del lugar
- Verter el sustrato con la relación óptima de agua y excremento
- Proponer metodología para otras relaciones de agua
- Realizar mediciones de los distintos parámetros del biodigestor
- Valorar experimentalmente en los laboratorios de FAREM-Carazo, la producción de biogás con el sustrato utilizado en el biodigestor de bolsa.
- Realizar análisis de los indicadores básicos y efluentes del biodigestor de bolsa.

Sub-objetivos:

- Incentivar la creación de un mercado de biodigestores en Nicaragua
- Motivar a las instituciones para que apoyen la tecnología de la biodigestión
- Apoyar didácticamente a los estudiantes de la UNAN-FAREM de Carazo
- Elaborar un manual de construcción de biodigestores familiares de bolsa

## 1.3.-Fases del desarrollo

El proyecto se inició en Octubre de 2011 y concluyó durante los primeros días de Febrero de 2012.

Las fases en las que podemos dividir la ejecución del proyecto, son las siguientes:

1. Conocimiento de la finca dónde se quiere construir el biodigestor: situación geográfica, dimensiones, puntos de abastecimiento de agua, cabezas de ganado, etc.
2. Diseño del biodigestor.
3. Cotización de los materiales en distintos puntos de venta de la región de Carazo.
4. Compra de materiales y transporte a la finca.
5. Construcción e instalación del biodigestor
6. Llenado. Primera carga.
7. Control y seguimiento del proceso de biodigestión.
8. Implementación.
9. Combustión del biogás.



En paralelo con las fases anteriormente descritas, se llevaron a cabo, diferentes experimentos en los laboratorios de la FAREM-Carazo y de la UNAN-Managua, que detallaremos a lo largo de la memoria.

## 1.4.-Medios

La característica principal de este proyecto, es que todos y cada uno de los materiales que fueran usados para la construcción del biodigestor, tenían que ser accesibles a los habitantes de Nicaragua y más concretamente, a los habitantes de la ciudad de Jinotepe, en la región de Carazo. Con el único objetivo de reproducir fielmente las dificultades, motivadas por la falta de medios, tanto técnicos como económicos, a las que puede verse expuesto un nicaragüense que desee construir un biodigestor, se decidió que ninguno de los materiales necesarios para su construcción se adquiriera en el extranjero. Este hecho, supuso un gran reto para la consecución del mismo, pues actualmente, el mercado de biodigestores en Nicaragua es prácticamente inexistente y encontrar una bolsa plástica de las especificaciones y tamaño que necesitábamos, retrasó la construcción del mismo.

En lo relativo a la logística, la UNAN de Managua y la FAREM-Carazo, pusieron a mi disposición todos sus recursos, tanto técnicos como humanos. Los profesores, los alumnos, los laboratorios, el personal administrativo, el transporte de los materiales, etc.

En resumen, los medios con los que este proyecto se llevó a cabo y se concluyó con éxito, no fueron otros, que aquellos con los que contaría un estudiante nicaragüense de la UNAN, puesto que como se ha dicho anteriormente, nuestro objetivo no era en exclusiva la construcción de un biodigestor, sino, la construcción de un biodigestor que demostrara de modo fehaciente, que con los materiales y los recursos tanto técnicos como económicos de un habitante medio nicaragüense, era posible su consecución.

## 1.5.-Esquema de la memoria

El objetivo de la memoria es explicar al lector de un modo sencillo la consecución de este proyecto, así cómo, situarle en el contexto social y cultural de la sociedad nicaragüense.

Para ello, se ha estructurado en los siguientes bloques:

- i. *Introducción técnica:* Explicación de los fundamentos de la biodigestión y los principales tipos de biodigestores con sus características.
- ii. *Introducción situacional:* Reseña histórica de Nicaragua y su relación con la cooperación internacional, en concreto con la cooperación española.
- iii. *Adecuación del proyecto a los objetivos de la cooperación:* Enumeración de los factores que justifican la elección de Nicaragua para desarrollar el proyecto.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



- iv. *Fases del desarrollo del biodigestor:* Explicación exhaustiva de la consecución del proyecto. Descripción del área elegida, de los estudios previos de laboratorio, del diseño y la construcción del mismo.
- v. *Resultados experimentales:* Recogida de datos y análisis de los mismos
- vi. *Conclusiones:* Análisis cualitativo de cómo se ha desarrollado el proyecto.



## 2. INTRODUCCIÓN TÉCNICA

---

### 2.1.-Definición de biodigestión y biogas

La digestión anaerobia es un proceso biológico, en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. [2]

El biogás es una mezcla constituida fundamentalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en mayor porcentaje, y en menor medida: nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), Sulfuro de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Vapor de agua, Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y una pequeña cantidad de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), pudiendo existir otros compuestos azufrados como Sulfuro de Carbonilo y Disulfuro de Carbono. En casos puntuales, se han detectado mediante análisis químicos extendidos, la presencia de trazas de compuestos orgánicos, hidrocarburos superiores al metano como propano, butano...

Su composición aproximada se presenta a continuación (Werner et al 1989):

Metano, $\text{CH}_4$	40 - 70% volumen
Dióxido de carbono, $\text{CO}_2$	30 – 60
Sulfuro de hidrógeno, $\text{H}_2\text{S}$	0 – 3
Hidrógeno, $\text{H}_2$	0 – 1

Tabla 1. Composición biogas

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles. El valor energético del biogás estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38MJ/m<sup>3</sup> que tiene el gas natural [3]

### 2.2.-Obtención de biogás. Proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos.

Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por seres de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo,  $H_2$ , ácido acético o amoníaco producido de la acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio  $CO_2$ -bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones.

Lo anterior implica que las puestas en marcha de los reactores sean, en general, lentas, requiriendo tiempos que pueden ser del orden de meses. En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Con esto se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas. Usualmente, esta limitación hace que los tiempos de proceso sean del orden de semanas, de dos a tres.

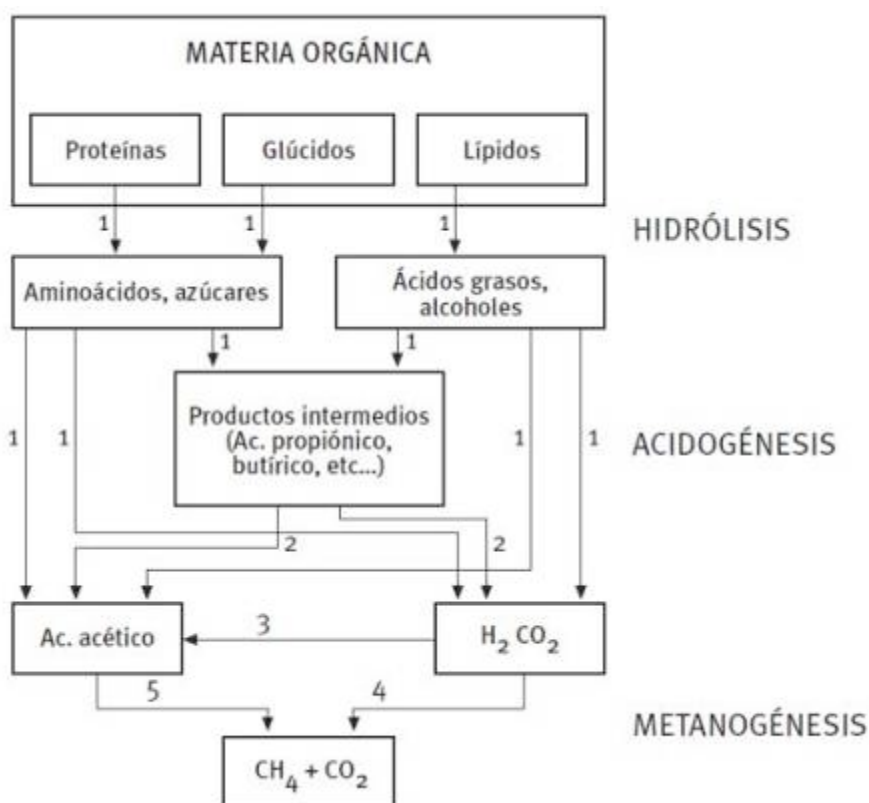




Figura 1: Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1)Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2)Bacterias acetogénicas; 3)Bacterias homoacetogénicas; 4)Bacterias metano-génicas hidrogenófilas; 5)Bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente CIEMAT.

La reacción que define el proceso:



### 2.2.1- Etapas de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia tiene lugar en tres etapas consecutivas: Hidrólisis, Acidogénesis y Metanogénesis:

- **Hidrólisis:** Durante esta primera etapa la materia orgánica es metabolizada por las enzimas extracelulares. Se descomponen las cadenas largas de materia orgánica en otras más cortas, obteniéndose los productos intermedios. [4]
- **Acidogénesis:** En esta fase se convierten los productos intermedios en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Estas dos etapas son llevadas a cabo por un primer grupo de bacterias: las hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas que hidrolizan y fermentan las cadenas complejas de la materia orgánica en ácidos orgánicos simples (acético mayormente) siendo este proceso el origen del oxígeno. Son bacterias anaerobias facultativas (pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo, se adaptan a la presencia de oxígeno) y estrictas (no crecen en presencia de oxígeno molecular, el oxígeno resulta tóxico en mínimas cantidades). El consumo del oxígeno molecular del aire, produce el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias anaerobias estrictas. Durante esta etapa el crecimiento bacteriano es rápido. Además durante la misma, no habrá reducción de la materia orgánica del sustrato, puesto que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más cortas, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente [4][5][6].

- **Metanogénesis:** Durante la tercera etapa, el segundo grupo de bacterias convierte los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono. Se trata de bacterias estrictamente anaerobias, es decir que la presencia de oxígeno molecular las elimina. Se denominan bacterias metanogénicas, y las más importantes son las que transforman los ácidos propanoico y acético, denominadas bacterias metanogénicas acetoclásticas. El otro grupo de metanogénicas, las hidrogenófilas, consumen el hidrógeno generado en la primera parte de la reacción y lo convierten en biogás. Estas últimas bacterias son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de la

reacción, puesto que una acumulación de hidrógeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica.

Las bacterias se encuentran en simbiosis, puesto que, las acidogénicas crean unas condiciones que favorecen el desarrollo de las metanogénicas. Éstas, a su vez, usan los productos intermedios de las acidogénicas, que si no fueran consumidos crearían condiciones tóxicas para las acidogénicas. [4]

En la siguiente figura podemos observar la composición del biogás a lo largo del tiempo. Inicialmente, hay una alta composición de  $\text{CO}_2$ , correspondiente a la etapa de acidogénesis, que va disminuyendo a medida que el acetato y el  $\text{CO}_2$  se convierten en  $\text{CH}_4$ , durante la metanogénesis.

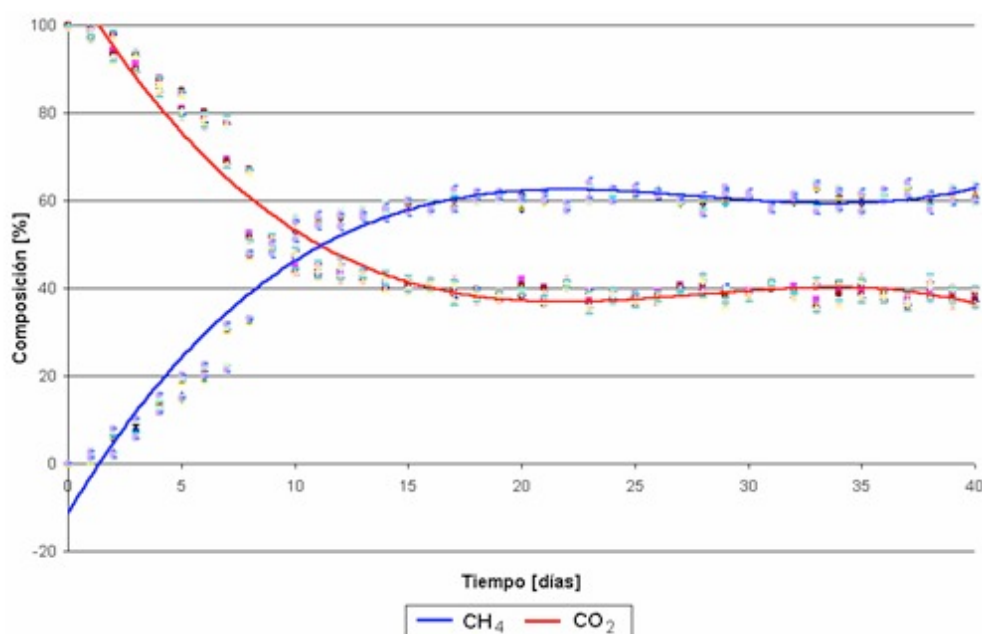


Figura 2. Composición porcentual de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  del biogás. Fuente: Duque DCA, Galeano UCH y Mantilla GJM 2006.

### 2.2.2.- Bacterias metanogénicas

La tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas es cinco veces menor que las de la fase anterior, por ello serán las que limitarán el proceso de degradación anaerobia (etapa controlante del proceso). Además, poseen una alta sensibilidad a la variación de los parámetros, por ello, serán las que condicionarán el tiempo de retención del reactor durante la fase de diseño, así como la temperatura y demás condiciones de trabajo [4][5][6].

### 2.2.3.-Ejemplos de procesos de digestión anaerobia.

El proceso de digestión anaerobia sucede de forma natural en los sedimentos marinos, los estómagos de los rumiantes o los pantanos, donde se dan las condiciones para que estas bacterias se desarrollen, aún siendo muy sensibles a las variaciones ambientales. [7]

En la figura siguiente, tenemos un esquema explicativo de los usos de la digestión anaerobia:

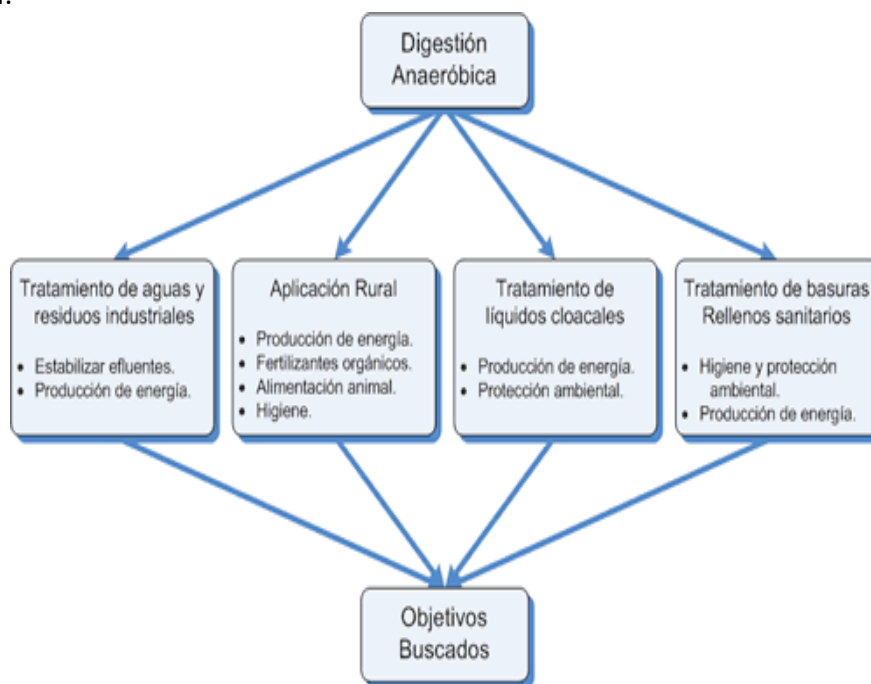


Figura 3: Usos del biogás. Fuente AITA

### 2.3.- PRODUCTOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Como resultado de la actividad de las bacterias anaerobias se obtiene un efluente estabilizado (cuya materia orgánica está en su forma más sencilla, sin posibilidad de volver a transformarse en condiciones ambientales) y el biogás.

- El efluente o biol se puede aplicar como fertilizante, puesto que los nutrientes no son eliminados por las bacterias de la digestión anaerobia, consiguiendo así como producto un fertilizante orgánico de calidad variable en función del sustrato tratado.
- El biogás, se puede utilizar directamente para cocinar, para alumbrado mediante lámparas de gas, etc.



## 2.4.- FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

En el estiércol de animal, la degradación de cada uno de los elementos que actúan en las distintas fases de descomposición, etc. dependerán fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que haya recibido. Los valores de producción, como de rendimiento en la producción de biogás, presentan grandes diferencias debido a distintos factores que hacen difícil la comparación de resultados.

Los factores principales que afectan a la producción de biogás son:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato
- Carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Nivel de acidez (pH)
- Alcalinidad
- Relación Carbono/ Nitrógeno
- Concentración del sustrato: el agregado de inoculantes
- Grado del Mezclado
- Contenido en sólidos totales
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso

### 2.4.1.- Temperatura

La velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas se incrementa normalmente cuando se eleva la temperatura (aproximadamente se duplica cada  $10^{\circ}\text{C}$ ), pero, una temperatura muy alta puede causar una declinación en el ritmo metabólico del proceso, debido a la degradación de las enzimas que son esenciales para la vida celular. Los microorganismos tienen un crecimiento y ritmo metabólico óptimos dentro de un rango de temperatura muy bien definido, y que es específico para cada especie bacteriana.

La digestión anaerobia es posible entre  $3^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ , y dentro de este rango de temperaturas, existen tres zonas de trabajo (ver figura 4):

- **Zona psicrófila:** por debajo de  $20^{\circ}\text{C}$
- **Zona mesófila:** entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$

- **Zona termofílica:** por encima de los 40°C

Al aumentar la temperatura, como ya se ha dicho, se acelera el crecimiento de las bacterias y por tanto, la producción de gas; pero, trabajando en el rango termofílico se asegura además la higienización del digerido, puesto que se destruyen patógenos, se esterilizan las semillas, se eliminan las larvas y huevos de insectos y las bacterias restantes del proceso de biodigestión se inactivan a temperatura ambiente.

Una ventaja de la digestión termofílica es que el ritmo de producción de metano es aproximadamente el doble del de una digestión mesofílica. Por consiguiente, los biodigestores termofílicos pueden tener la mitad del volumen de uno mesofílico, y aún así, mantener la misma eficiencia en el proceso. Se han llevado a cabo muchos estudios de procesos termofílicos en países de la zona templada del mundo. Sin embargo, con excretas y residuos fecales que están a temperatura ambiente, se necesita considerable energía para elevar la temperatura de este material hasta 55°C. Por lo tanto, los estudios sobre la digestión termofílica pueden ser de menor interés en países tropicales, especialmente en áreas rurales, donde la disponibilidad de energía es escasa o un factor limitante para cualquier actividad. [8].

Un aumento de la temperatura de digestión tiene el mismo efecto que un aumento del tiempo de retención del sustrato, por lo que mayor temperatura implicará un menor volumen del reactor. La desventaja de las altas temperaturas es que el nitrógeno amoniacal libre se convierte en inhibidor si éste está presente en gran cantidad en el sustrato, como se da en las excretas animales, que es nuestro caso de estudio. [5][7]

Por tanto, la temperatura, determina el tiempo de retención para la digestión y degradación de la materia orgánica dentro del digestor.

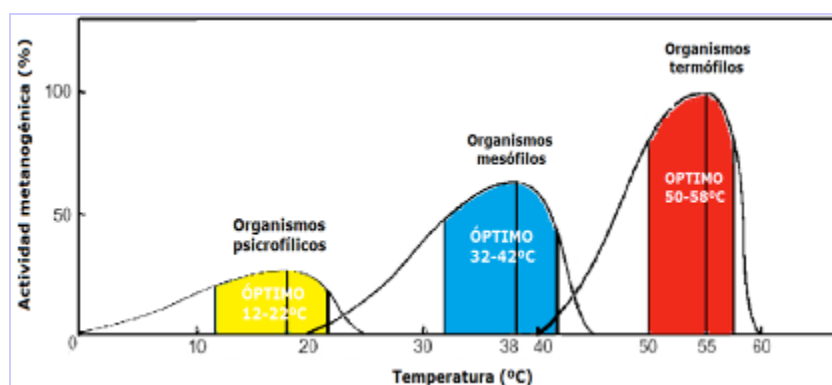


Figura 4. Rango de temperaturas de la digestión anaerobia. Fuente: Orbelith Murillo



### 2.4.2.- pH

El pH, es uno de los parámetros de control más importantes y representa el grado de acidez presente en el biodigestor. Su valor óptimo oscila entre 6,8 y 7,4 [9] cuyo rango es el adecuado para que el reactor opere correctamente. Con valores de pH por debajo de 6,2 [7] y por encima de 8 se corre el riesgo de inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.

Depende en gran parte del equilibrio del carbono inorgánico (dióxido de carbono/bicarbonato/carbónico), que define la capacidad tampón (de autorregular el pH) del afluente. Esta capacidad se mide con la alcalinidad. [7]

Los valores de pH pueden ser corregidos y así mantenerlo dentro del rango adecuado para el proceso de fermentación. Cuando el pH es alto se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregar materia orgánica fresca en la misma cantidad o bien, si el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas o agua amoniacal diluida, esto último se conoce como tampón carbonato/bicarbonato:

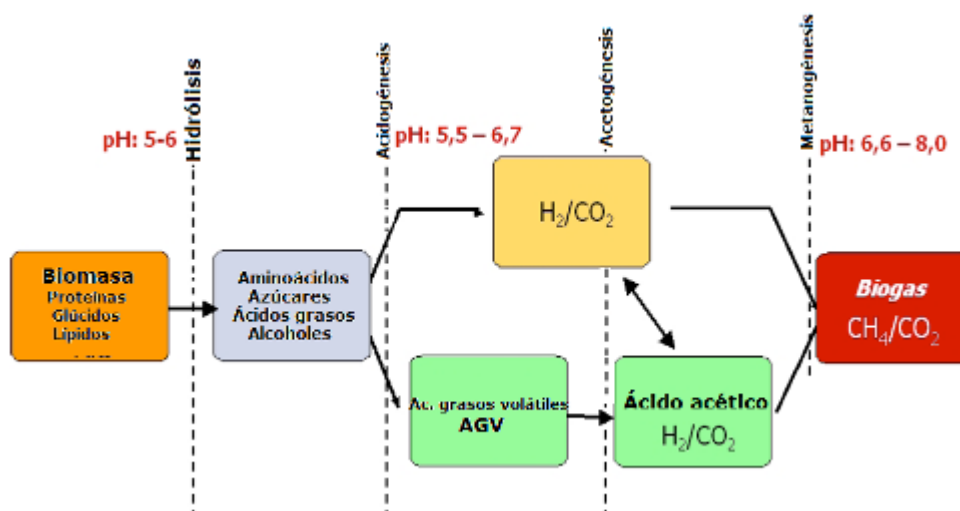
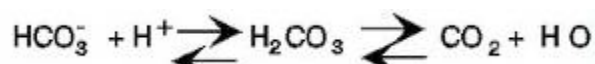


Figura 5: Esquema de los cuatro pasos de la digestión anaerobia [FNR, 2008]

### 2.4.3- Alcalinidad

La alcalinidad da una medida de la capacidad amortiguadora (tampón) que posee un digestor ante posibles cambios del pH del efluente a tratar, y ya se ha visto la importancia de que el pH se mantenga aproximadamente constante dentro de un rango de valores. Esta alcalinidad va a determinar el que se puedan tratar o no residuos que no sean neutros. El principal tampón lo constituye el sistema dióxido de

carbono/bicarbonato. El  $\text{CO}_2$  que se forma en el propio proceso al descomponerse la materia orgánica reacciona con el amoníaco procedente de la diseminación de compuestos nitrogenados y con los cationes metálicos presentes en el medio, formando carbonatos y bicarbonatos [9]

#### 2.4.4.- Tiempo de retención hidráulico

Representa el tiempo que un residuo está dentro de digestor. Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos.

Es función del diseño del reactor, pues depende de la temperatura alcanzada en el mismo y del grado de mezclado del efluente [7]

En la Figura 6 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención. Notar que existe un tiempo mínimo por debajo del cual el reactor no presenta actividad, que la eliminación de materia orgánica sigue una tendencia asintótica, con una eliminación completa a tiempo infinito, y una producción de gas por unidad de volumen de reactor con un máximo para un tiempo de retención correspondiente a una eliminación de sustrato entre el 40 y el 60%. [2]

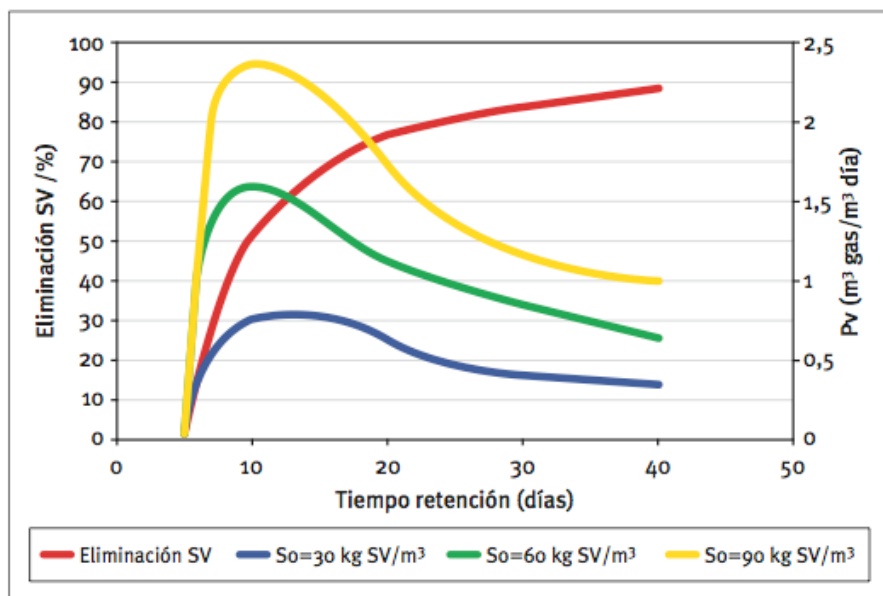


Figura 6: Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv ( $\text{m}^3$  biogás/ $\text{m}^3$  dig·día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente IDAE.

#### 2.4.5.- Velocidad de carga orgánica

Velocidad de carga orgánica, OLR en inglés. Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento en la OLR implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida (ver Figura 6), debiendo encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.

#### 2.4.6.- Composición materia orgánica

Para la fermentación los microorganismos metanogénicos se requiere de suficiente material de carga para que el proceso de digestión no se interrumpa, el porcentaje más adecuado de contenido en sólidos es del 5% al 10% lo que indica que la biomasa más adecuada es la de alto contenido en humedad, lo que se traduce en un estiércol de no más de tres días.

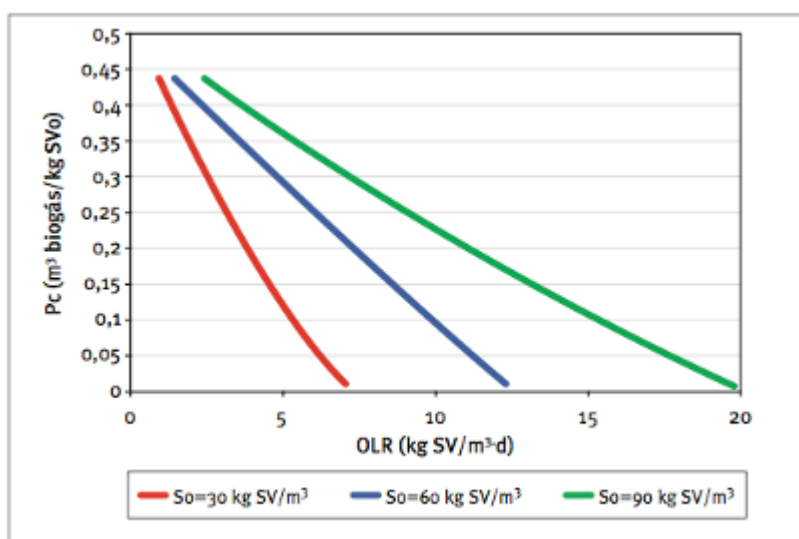


Figura 7. Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (OLR). Fuente IDAE

#### 2.4.7.-Nutrientes

Se considera que la proporción de Carbono, Nitrógeno y Fósforo en su rango óptimo es de C/N/P= 150/5/1. La presencia de estos nutrientes es necesaria, pero debe darse en la proporción adecuada para que no obstaculice el desarrollo bacteriano [7].

Otros tipos de nutrientes, como sulfuro, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobalto, zinc, etc. son también necesarios en pequeñas cantidades.[4]

Cuando la relación de los nutrientes es muy inferior a la óptima, la velocidad de reacción disminuye, en cambio, cuando los valores son superiores, se crean problemas de inhibición del proceso biológico. [7]

La presencia de Amonio o de Nitrógeno orgánico en el afluente, produce la inhibición del proceso biológico con la consecuente disminución de producción de gas y una caída moderada del pH.[10]

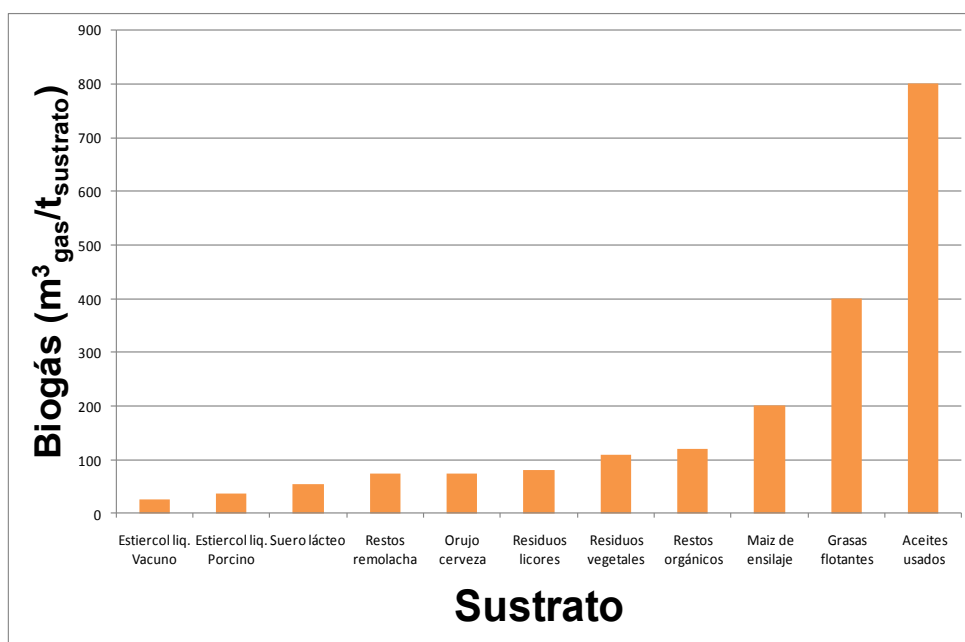


Figura 8. Producción de biogas en función del sustrato. Fuente:Orbelith Murillo

#### 2.4.8.- DBO/DQO (Cantidad de materia orgánica)

Los parámetros utilizados para conocer el contenido de materia orgánica de un residuo son: la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO). Representan indirectamente el contenido de materia orgánica de un residuo a través del oxígeno necesario para oxidar químicamente (DQO) o biológicamente (DBO) la materia orgánica.

Un aumento de la carga con materia orgánica disuelta, supone un desequilibrio de las tres etapas de la biodigestión. Se produce un aumento rápido en la presencia de ácidos volátiles, la producción de gas se incrementa asimismo rápidamente y el pH disminuye. Un aumento de la carga con materia orgánica en suspensión, provoca un desequilibrio en las tres etapas con un efecto de lavado en las bacterias (salen del reactor con el efluente de salida), se produce un aumento de ácidos volátiles y la producción de gas se incrementa moderadamente. [7]

## 2.4.9.- Contenido en sólidos totales

La cantidad de sólidos de entrada representa la humedad del afluente, así un valor de un 10% en ST significa una humedad de la corriente de 90%.

Si aumenta la media de sólidos en suspensión del efluente, se provoca un lavado de las bacterias (salen del reactor como corriente de salida), se produce un aumento progresivo de ácidos volátiles, lo que hace disminuir lentamente la producción de gas. En la tabla siguiente se muestran diferentes sustratos y sus respectivos contenidos en ST y SV:

Material			Sólidos totales (TS)	Sólidos volátiles (VS)	Grasas	Lignina	Celulosa compleja	Proteína
Estiércol porcino	Frescos	%	27.4	20.97	3.15	5.8	8.88	3.0
	Totales	%	100	76.54	11.5	21.49	32.39	10.95
	VS	%	----	100	15.03	28.08	42.32	14.31
Estiércol vacuno	Frescos	%	20.0	15.8	0.65	7.11	6.56	1.81
	Totales	%	100	76.89	3.23	35.57	32.49	9.05
	VS	%	----	100	4.20	46.2	42.26	11.77
Estiércol de aves	Frescos	%	68.9	56.64	2.96	13.66	24.83	6.36
	Totales	%	100	82.20	2.84	19.82	50.55	9.56
	VS	%	----	100	3.46	24.11	61.5	11.58
Paja de arroz	Frescos	%	88.82	76.41	8.54	11.28	53.25	4.81
	Totales	%	100	86.02	9.62	12.7	59.95	5.42
	VS	%	-----	100	11.18	14.76	69.19	6.3
Pasto verde	Frescos	%	15.9	12.93	1.28	1.56	9.1	0.79
	Totales	%	100	81.32	8.05	9.8	57.22	4.94
	VS	%	----	100	9.90	17.05	70.36	6.07

Tabla 2. Sustratos y contenidos en ST y SV. Fuente: El biogás, 1986

Material	Contenido seco (%)	Contenido hídrico (%)
Paja de arroz	83	17
Paja de trigo seca	82	18
Tallo de maíz	80	20
Pasto verde	24	76
Excretas humanas	20	80
Estiércol de cerdo	18	82
Estiércol de vaca	17	83
Orina humana	0.4	99.6
Orina de cerdo	0.4	99.6
Orina de vaca	0.6	99.4



Tabla 3. Distintos posibles sustratos con sus respectivos contenidos secos y húmedos.  
Fuente: El biogás, 1986

#### 2.4.10.- Agentes promotores e inhibidores de la fermentación

Los tóxicos son sustancias que a partir de una cierta concentración, inhiben las bacterias, reduciendo la velocidad de reacción y llegando a interrumpir la digestión en concentraciones mayores. Aún así, puede existir un cierto entorno de aclimatación por parte de las bacterias a una cierta concentración de sustancias tóxicas. Entre ellas están:

- **Oxígeno**
- Metales: **cobre** (inhibidor a partir de 40ppm, tóxico en 70 ppm), **plomo**, **plata**, **cromo** (500ppm), **arsénico**, **boro**, **zinc** (inhibidor en 400ppm y tóxico en 600ppm), **níquel** (inhibidor a partir de 100ppm, tóxico a partir de 1000ppm)
- **Calcio**, estimulante de 100-200 ppm, inhibidor 2500-4500 ppm, tóxico 8000ppm.
- **Magnesio**, estimulante 75-150 ppm, inhibidor 1000-1500ppm, tóxico 3000ppm
- **Potasio**, estimulante 200-400 ppm, inhibidor 2500-4500ppm, tóxico 12000ppm
- **Sodio**, estimulante 100-200 ppm, inhibidor 3500-5500ppm, tóxico 8000ppm
- **Amonio**, beneficioso de 50-200 ppm, ningún efecto adverso de 200-1000ppm, inhibidor por altos valores de pH. El equilibrio amonio-amoniaco depende de la temperatura y del pH [4]
- **Cianuros** (tóxico a 2ppm), **sulfatos**, **cromatos** o **fluoruros**.
- **Formas no ionizadas de ácidos grasos volátiles y ácido sulfhídrico**.

Para los residuos ganaderos serán críticos el nitrógeno amoniacal (200-700ppm), los antibióticos y los desinfectantes.[7]

Los agentes promotores son materiales que fomentan la degradación de la materia orgánica y aumentan la producción de biogás, entre ellos existen enzimas, sales inorgánicas, etc; Se puede emplear Urea para acelerar la producción de metano y la degradación del material. Carbonato de Calcio para la aumentar la generación de gas y el contenido de metano. Cuando se carga el digestor, es necesario agregar celulosa para promover el proceso y la producción de biogás.

Concentraciones elevadas de amoníaco y nitrógeno, sales minerales como los iones metálicos y algunas sustancias orgánicas como detergentes, desinfectantes y químicos agrícolas, que aparte del oxígeno, inhiben la digestión por que destruyen las bacterias metanogénicas.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO <sub>4</sub>	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/l
Cu	100mg/l
Cr	200mg./l
Ni	200- 500 mg./l
CN	25mg./mg./l
Detergente sintético	20-40 mg./l
Na	3500-5500 mg./l
K	2500-4500 mg./l
Ca	2500-4500 mg./l
1000-1500 mg./l	1000-1500 mg./l

Tabla 4. Concentración inhibidora de tóxicos comunes (FAO, 1986)

## 2.5- BIODIGESTORES

### 2.5.1.- Breve reseña histórica

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1600, identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

La difusión de los biodigestores a nivel rural, comienza en la segunda guerra mundial. China e India se convierten en países de referencia. La difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y en la crisis energética de la década de los 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos. Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico. Estos progresos en la comprensión del proceso han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada, obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Actualmente, los países más relevantes en esta tecnología son: China, India, Holanda, Francia y Alemania. [11]





### 2.5.2.-Definición de biodigestor

Un biodigestor es un recinto cerrado, en el que se introduce una mezcla de estiércol y agua. Las bacterias que habitan en el estiércol, en ausencia de oxígeno, degradan la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, y la transforman en una mezcla de gases, llamado biogás, con alto contenido en metano, y en fertilizante, llamado biol.

El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad.

El biol, considerado producto secundario de los biodigestores, está ganando la misma importancia que el biogas, debido a sus magníficas propiedades como abono natural para las cosechas [12].

### 2.5.3.- Tipos de biodigestores

Los Biodigestores se pueden clasificar según su régimen de carga [13]:

- a. *Biodigestores de lote o batch*: Se cargan de una vez en forma total o por intervalos durante varios días, y la descarga se efectúa cuando han dejado de producir gas combustible. Es aplicable cuando se presenten problemas de manejo o cuando la materia orgánica está disponible de forma intermitente.
- b. *Biodigestores de régimen semi-continuo*: Este tipo de digestor es más utilizado en la agricultura, normalmente se cargan por gravedad una vez al día con volúmenes de mezcla que depende del tiempo de fermentación. Producen una cantidad de gas constante al día, de acuerdo con su principio de funcionamiento y construcción. Pueden ser de campana flotante o tipo hindú, de tipo chino o de cúpula fija, los cuáles, tienen un diseño básico en el que el biogás es colectado en una cúpula fija.

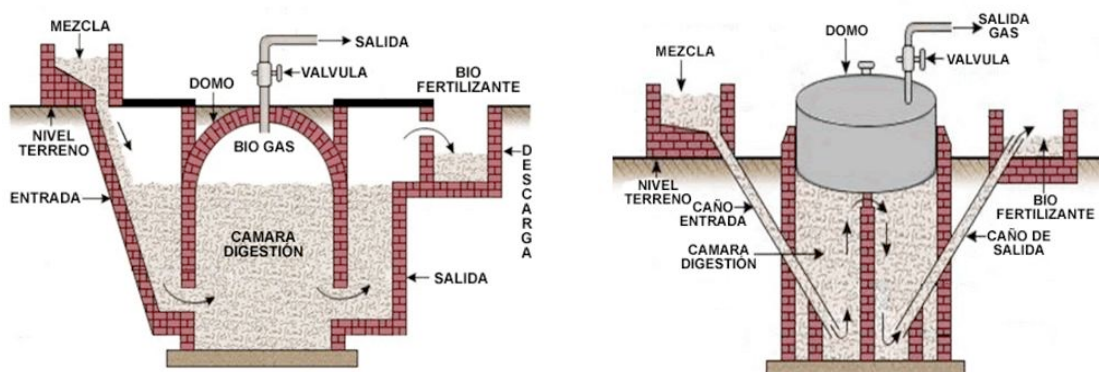


Figura 9. Biodigestor tipo chino (izquierda). Biodigestor tipo hindú (derecha)

- c. *Biodigestores de régimen continuo*: Están diseñados para el tratamiento de aguas negras y grandes aplicaciones. Se requiere de equipos comerciales para alimentarlos, requieren de agitación y control. Por estas razones son grandes consumidoras de energía.
- d. *Biodigestores horizontales*: Generalmente se construyen enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal. Utilizan el sistema de operación semi-continuo, entrando la carga por un lado y saliendo los lodos por el otro extremo.

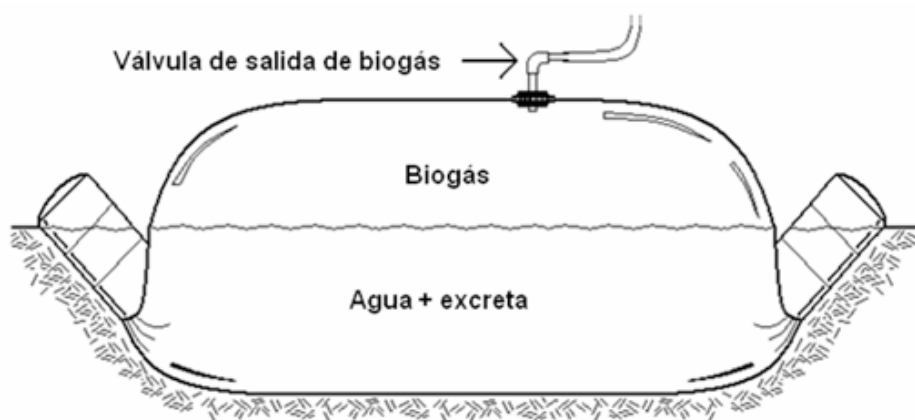


Figura 10: Modelo de biodigestor tubular (Lansing et al., 2008)

- e. *Biodigestores combinados*: son sistemas con menores tiempos de retención, de 10 a 30 días. Para residuos con alto porcentaje de sólidos totales, a fin de lograr un mayor contacto entre la biomasa microbiana y el sustrato en cuestión.
- f. *Biodigestores de dos etapas*: en este tipo de biodigestor actúan varios tipos de bacterias en el proceso de descomposición de la materia orgánica compleja. Requieren de diferentes condiciones de pH y tiempo de retención para su crecimiento óptimo. Este Biodigestor tiene dos recamaras de fermentación. En una recamara ocurre la hidrólisis y acidogénesis de la materia orgánica



compleja, mientras que en la segunda se lleva a cabo la acetogénesis y metanogénesis del material acidificado [14].

#### 2.5.4.- Componentes de un biodigestor

Un digestor principalmente está formado por una cámara hermético donde ocurre la fermentación y una cámara de almacenaje de gas. Las dos partes pueden estar juntas o separadas y la cámara de gas puede ser de campana fija, flotante, cubierta plástica. Otros componentes del Biodigestor son:

- Filtro de materia orgánica.
- Pila de recepción de materia orgánica.
- Tubo de entrada de materia orgánica.
- Cámara de fermentación o cuerpo del digestor.
- Sistema de agitación.
- Cámara de salida de material estabilizado o fermentado.
- Cámara de almacenamiento de gas.
- Pila de salida de abonos foliares.
- Tubería de salida de biogás.
- Sistema de filtros para el biogás.

#### 2.5.5.- Usos del biogas

El biodigestor desarrollado en este proyecto, ha sido pensado para la obtención de biogás con el fin de para cocinar alimentos.

Pero el biogas también puede ser usado para alumbrado, para motores de combustión, etc.

Para que nos hagamos una idea, una familia media de 4 miembros, requiere para 5 horas de cocina diarias, 1 m<sup>3</sup> de biogás, que totalmente quemado es suficiente para:

- Generar 1.25 kWh de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a una bombilla de 60 W.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante una hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1HP durante 2 horas.

La tabla siguiente, muestra las equivalencias del poder calorífico del biogas, tomando como base de 1m<sup>3</sup>.

<b>1 m<sup>3</sup> de biogas (aproximadamente 6kWh/m<sup>3</sup>) equivale a:</b>
▪ 0.5 kg de queroseno o diesel (aproximadamente 12 KWh/Kg)
▪ 1.3 kg de madera (aproximadamente 4.5 KWh/Kg)
▪ 1.2 kg de estiércol de vaca (aproximadamente 5 KWh/Kg)
▪ 1.3 kg de residuos vegetales (aproximadamente 4.5 KWh/Kg)
▪ 0.7 kg de carbón (aproximadamente 8.5 KWh/Kg)

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



▪ 1.1 m <sup>3</sup> de gas natural (aproximadamente 5.3 KWh/Kg)
▪ 0.24 m <sup>3</sup> de propano(aproximadamente 25 KWh/Kg)

Tabla 5. Equivalencias poder calorífico del biogas. Fuente: Orbelith Murillo

## 3. INTRODUCCIÓN SITUACIONAL

### 3.1.- NICARAGUA

Para entender la situación actual de Nicaragua es necesario conocer su historia. Se presenta en este trabajo una pequeñísima síntesis de la historia de Nicaragua desde la llegada de los españoles hasta la actualidad, con el objetivo de entender la situación actual del país.

Nicaragua es una república democrática ubicada en Centroamérica, con capital en Managua. El último censo cuenta con 5.8 millones de Nicaragüenses y fue realizado en 2008. El presidente actual es José Daniel Ortega Saavedra, líder del partido Frente Sandinista de Liberación Nacional (FSLN), elegido en las urnas en 2006 y reelegido en Noviembre de 2011. El territorio nicaragüense consta de 15 departamentos y 2 regiones autónomas, divididos en 153 municipios.

El Índice de Desarrollo Humano de la ONU [IDH] de Nicaragua es de 0.589 lo que coloca al país en la posición 129 de los 187 países para los que se disponen datos comparables. Con una tasa de pobreza del 56.5% de la población, y un 15% en extrema pobreza, siendo el segundo más pobre de América Latina después de Haití. [15]

Su geografía está formada principalmente por lagos, volcanes, zonas de cultivo y pasto, y bosque húmedo y seco. Ha sido altamente deforestada, por lo que su clima ha cambiado rotundamente en los últimos años, tornando a seco y caliente.

Posee dos estaciones. La estación de lluvias, de Mayo a Noviembre, y la estación seca, de Noviembre a Mayo. No obstante, la duración de las estaciones dependerá de la región.



Figura 11. Mapa de Nicaragua. Fuente AECID



### 3.1.1.-Breve reseña histórica

Los principales pobladores de la región, antes de la llegada de los españoles, eran los Náhuatl, aunque convivían con muchas más etnias menos numerosas. Nicaragua debe su nombre al cacique Nicarao, miembro de este grupo étnico. Las primeras evidencias de pobladores indígenas son de hace más de 6000 años (Huellas de Acahualinca, huellas humanas preservadas en lava solidificada).

En 1524 los españoles llegan al territorio de la actual Nicaragua y liderados por Francisco Hernández de Córdoba fundan los dos primeros asentamientos: Granada y León. El este del país pasó a formar parte de la Corona Inglesa, que creó un protectorado que duró desde la conquista hasta el siglo XIX, cuando fue anexionado a la parte dominada por los españoles. La independencia del territorio se produce en 1821, pasando a formar parte del Primer Imperio Mexicano, luego la Unión Centroamericana, posteriormente a la República Federal de Centroamérica y no será hasta 1838 que Nicaragua forma el estado independiente que conocemos ahora.

Por tratarse de un punto estratégico de comunicación entre los océanos Atlántico y Pacífico, Estados Unidos trata de anexionarse el estado a mediados del siglo XIX, sin éxito, pero contando desde entonces con mucha presencia del ejército norteamericano en el país. Comienza entonces una época de conflictos entre los liberales y los conservadores (apoyados por Estados Unidos) que frenará mucho el crecimiento económico del país, que se recuperará moderadamente a partir de 1858 y vivirá una mejor época durante los treinta años siguientes bajo el mando conservador.

En 1893 José Santos Zelaya López, del partido liberal es elegido como presidente e implanta un régimen dictatorial que durará hasta 1912, cuando vuelve a comenzar un periodo de mucha inestabilidad política, con diversas intervenciones armadas de Estados Unidos, además de conflictos territoriales con los países vecinos, pues las fronteras no estaban completamente definidas. En esta época de ocupación norteamericana surge un movimiento de resistencia militar liderado por Augusto César Sandino. Fue ejecutado por la Guardia Nacional en 1933, pero sus obras sentarán las bases para la posterior fundación del Frente Sandinista de Liberación Nacional.

A partir de 1934 se sucede un periodo dictatorial, cuyos dirigentes pertenecen a la familia Somoza y son apoyados por Estados Unidos. Con ellos, y durante 45 años, el país vive una época de tiranía, privación de libertades, persecución y opresión. La corrupción de este gobierno, se hace patente tras el terremoto que el 23 de diciembre de 1972 asoló Managua y mató a más de diez mil personas. Anastasio Somoza, el tercero de la dinastía se apropió de la mayor parte de la ayuda internacional, lo que hizo crecer aún más su impopularidad, alimentando la Revolución que crecía clandestinamente. Nicaragüenses descontentos con el regimen, forman el movimiento revolucionario conocido como Frente Sandinista de Liberación Nacional (fundado por Carlos Fonseca y que debe su nombre a Sandino), y tras muchos años de guerra de guerrillas acaban derrocando el régimen de Somoza, el 19 de julio de 1979. Somoza y todo su círculo se refugian en el exilio. El FSLN se consolida como partido político y toma el poder temporalmente. Se convocan elecciones en 1986, y son ganadas por



José Daniel Ortega Saavedra (actual presidente). Se realiza una importantísima campaña de alfabetización y se establece la sanidad pública y gratuita en todo el país. Dado que la Revolución contó con el apoyo de Cuba y la URSS, EEUU bajo el mando de Reagan, teme que se asiente un régimen comunista, y empieza a subvencionar y a armar a la exiliada Guardia Nacional (ejército somocista) que acaba invadiendo de nuevo Nicaragua por el norte, y comienza así una nueva guerra.

En 1990 se vuelven a convocar elecciones, bajo la amenaza estadounidense de que si vence el FSLN seguirá subvencionando a la Guardia Nacional. Violeta Chamorro, del partido conservador, gana las elecciones y comienza una reconstrucción del país, que inicia un lento crecimiento económico. Tras la sorpresa de la derrota del FSLN, los gobernantes llevan a cabo un reparto de las tierras expropiadas a Somoza entre los simpatizantes sandinistas, y se entra en una vorágine de corrupción que aplasta el crecimiento del país.

El paso del Huracán Mitch en 1998 destruye gran parte del país. El entonces presidente Arnaldo Alemán se apropia de la ayuda internacional. Se repite la historia. Le sucede Bolaños, que en 2006 se retira de la política, año en que es reelegido el presidente actual Daniel Ortega. En Noviembre de 2011, Daniel Ortega, es reelegido en las urnas, pese a que la reelección no está permitida en la Constitución Nicaragüense y a las advertencias de diferentes organismos internacionales presentes en el proceso electoral.

Nicaragua, un país con potencial y recursos ha sido aplastado por los intereses internacionales y la política interior, caracterizada por corrupción y manipulación mediática. Nunca se desarrolló industria, lo que impidió el crecimiento económico, agravado por el embargo económico de Reagan durante la guerra.

Actualmente Nicaragua basa su economía en el sector primario y en la exportación de productos básicos. La mayoría de productos procesados los importa, y la escasa industria que hay es de capital extranjero.

## **3.2.-COOPERACIÓN INTERNACIONAL AL DESARROLLO**

### **3.2.1.-Introducción a la cooperación. Definición.**

La definición viene marcada por el artículo 1 de la Ley 23/1998 de Cooperación para el Desarrollo de 7 de Julio y dice lo siguiente:

“El conjunto de recursos y capacidades que se ponen a disposición de los países en vías de desarrollo, con el fin de facilitar e impulsar su progreso económico y social, y para contribuir a la erradicación de la pobreza en el mundo en todas sus manifestaciones.”

### **3.2.2.-Países en vías de desarrollo**

Denominamos países en vías de desarrollo a los países que cumplen las siguientes características:



1. Nivel bajo o muy bajo de renta per cápita y de Desarrollo Humano.
2. Alta dependencia económica del mundo desarrollado.
3. Importancia del sector primario en la economía generalmente con rendimientos bajos.
4. Problemas alimenticios.
5. Escaso nivel de educación y altos niveles de analfabetismo
6. Importante crecimiento demográfico.

### 3.2.3.-Historia de la cooperación internacional

Aunque tradicional e históricamente siempre han existido asociaciones que promovían la cooperación, es en 1863 cuando se crea la primera organización, el Comité Internacional de la Cruz Roja por Henry Dunant.

Posteriormente surge la Organización de las Naciones Unidas y con ella los estados se comprometen a “emplear un mecanismo internacional para la promoción del avance económico y social de los pueblos.” En 1945 en la Carta de las Naciones Unidas se define por primera vez el término Organización No Gubernamental y se crean organizaciones como la FAO, UNESCO o UNICEF.

Será en los años 60 y 70 donde se desarrolle la cooperación tal y como se concibe ahora, debido especialmente a la descolonización, creándose así vínculos ex colonia-metrópolis, y definiéndose objetivos como el de destinar un 0.7% del PIB a la Cooperación.

Poco a poco van adquiriendo más y más importancia las ayudas procedentes de ONGs o instituciones privadas, y el tipo de ayuda cambia también focalizándose más en ayudas cuando hay emergencias que ayudas a largo plazo para favorecer el desarrollo, pues se producía la denominada “fatiga del donante”, mientras que la ayudas puntuales por emergencia tienen mucho más efecto mediático. Las ayudas de los países desarrollados empiezan a bajar, llegando en el año 2002 a una media de 0.23% cuando el objetivo establecido era un 0.7%

Esto acaba desembocando en la firma de la Declaración del Milenio en septiembre de 2000, donde 189 países recuerdan los objetivos marcados en los años 90, que consta de los siguientes objetivos:

- Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre.
- Objetivo 2: Lograr la enseñanza primaria universal.
- Objetivo 3: Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer.
- Objetivo 4: Reducir la mortalidad infantil.
- Objetivo 5: Mejorar la salud materna.
- Objetivo 6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.
- Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.
- Objetivo 8: Fomentar una asociación mundial para el desarrollo.

En 2005 los países donantes y sus socios firman la Declaración de París sobre la eficacia de la ayuda al desarrollo, y en 2008 la Agenda de Acción de Accra, estableciendo ambos objetivos, compromisos y modelos de referencia.





### 3.2.4.-Cooperación Española

La Cooperación Internacional Española se rige por un marco común de actuación conocido como Plan Director de Cooperación Internacional, elaborado por la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo). Tiene validez de tres años, y en cada renovación se evalúa y revisa el anterior utilizándose de base para el siguiente.

Actualmente está en vigencia el III Plan Director 2009-2012.

El Plan Director se completa con los Documentos de Estrategia del País (DEP) y los Planes de Atención Especial (PAE).

El desarrollo operativo y presupuestario viene marcado por el Plan Anual de Cooperación Internacional (PACI)

El Plan Director establece una serie de prioridades, entre ellas [PDCE]:

1. Prioridades Geográficas: Se establecen tres grupos de actuación.

La clasificación se basa en la eficacia que la ayuda puede conseguir y en el potencial de la ayuda que se puede ofrecer al país socio.

Diferenciamos:

- Grupo A: Asociación Amplia. Engloba a los países con los que España puede establecer una relación en el ámbito de la cooperación de calidad a largo plazo, debido al tipo de relación que se ha mantenido entre el país y la Cooperación Española.
- Grupo B: Asociación focalizada
- Grupo C: Asociación con países de renta media para la consolidación de logros de desarrollo.

Esto establece al Grupo A como grupo prioritario destinándole 2/3 de las ayudas. 1/5 será para el grupo B (En total el 85% de las ayudas va destinada a los grupos A y B) quedando un 3/20 para el Grupo C.

2. Prioridades sectoriales:

- Gobernabilidad democrática
- Desarrollo rural y lucha contra el hambre
- Servicios sociales básicos: educación
- Servicios sociales básicos: salud
- Servicios sociales básicos: Agua y saneamiento
- Crecimiento económico para la reducción de la pobreza
- Sostenibilidad ambiental, lucha contra el cambio climático y hábitat
- Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Humano
- Cultura y desarrollo
- Género en desarrollo
- Migración y desarrollo
- Construcción de la paz



### **3.2.5.-Cooperación española en Nicaragua**

Según el III Plan Director de Cooperación Española, Nicaragua está incluido en los países del Grupo A. Esto convierte a Nicaragua en uno de los países prioritarios en recepción de ayudas.

España es el primer donante bilateral de la OCDE, siendo Nicaragua el tercer receptor de fondos españoles de ayuda Oficial al desarrollo (AOD) a nivel mundial. España aportó en 2010 más del 50% de la AOD total destinada por la Unión Europea y los países miembros a Nicaragua [16].

#### **3.2.5.1.-Situación de Nicaragua y vulnerabilidad**

Como ya se mencionó el Índice de Desarrollo Humano de la ONU [IDH] de Nicaragua es de 0.589 lo que coloca al país en la posición 129 de los 187 países para los que se disponen datos comparables. Con una tasa de pobreza del 56.5% de la población, y un 15% en extrema pobreza, siendo el segundo más pobre de América Latina después de Haití. [15]

Su economía se basa en la producción y exportación de bienes con escaso valor añadido.

Su situación geográfica le somete a constantes desastres naturales (Volcanes, huracanes, inundaciones, terremotos...)

El país se ha visto aplastado por una política que se ha caracterizado siempre por altos niveles de corrupción, inestabilidad, control mediático e intereses internacionales. Véase la historia para un mejor entendimiento de la situación del país.

#### **3.2.5.2.-Desarrollo en Nicaragua: Fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades**

- **Fortalezas:** Gracias a la iniciativa HIPC (Países Pobres Altamente Endeudados), se ha conseguido reducir su deuda externa en un 80%. Tras la campaña de alfabetización llevada a cabo en los años 80, la población cuenta con una altísima tasa de alfabetización del país, cercana al 90%. La sanidad es pública y la educación son gratuitas. Nicaragua es uno de los países de Centroamérica que presenta menores niveles de violencia.
- **Debilidades:** Economía débil, basada exclusivamente en el sector primario. Nula industrialización. Alta dependencia de la ayuda externa y de la importación de productos procesados. Un Plan Nacional de Desarrollo politizado, inseguridad jurídica y legislativa, inestabilidad institucional. Socialmente, la mujer está considerada en desigualdad con respecto al hombre(machismo)



- Oportunidades: Aparte del apoyo de la comunidad internacional, Nicaragua forma parte de Tratados de libre comercio con toda Centroamérica, EEUU y República Dominicana.
- Amenazas: Importa la gran mayoría de los productos que consume, desde lo más básico, como la harina de trigo o el frijol, hasta los de mayor inestabilidad mercantil como el petróleo. Conflicto social con Costa Rica. Las amenazas naturales a las que se ha visto sometido por su situación geográfica.

### **3.2.5.3.- Objetivos estratégicos y líneas de cooperación.**

Según el Documento de Estrategia País [DEP] se dividen los objetivos y las líneas de cooperación según su prioridad en Nicaragua:

- Alta prioridad:
  - .-Gobernabilidad democrática, participación ciudadana y desarrollo institucional.
  - .-Cobertura de las necesidades básicas.
  - .-Aumentar las capacidades económicas.
  - .-Genero y Desarrollo.
- Prioridad media:
  - .-Aumentar las capacidades.
  - .-Aumentar las capacidades económicas.
- Prioridad baja:
  - .-Aumentar la libertad.
  - .-Aumentar las capacidades culturales.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



## 4. ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LOS OBJETIVOS DE COOPERACIÓN

---

### 4.1.-INTRODUCCIÓN

De este proyecto se benefician, directa e indirectamente, dos sectores distintos. De modo directo, la UNAN-FAREM de Carazo, ya que, dentro del programa marco dónde se recoge éste proyecto de investigación, se fomenta el traspaso de conocimiento entre este centro y la Universidad Carlos III.

El beneficiario indirecto sería el productor local al que se le ofrece la oportunidad de trabajar con biodigestores.

Como se ya se ha comentado en otros capítulos anteriores, lo que se pretende es formar a los estudiantes de la UNAN y dotarles de las herramientas necesarias para que puedan llevar a cabo sobre el terreno estas tecnologías.

Trabajamos con el objetivo de desarrollar tecnologías apropiadas al entorno socioeconómico de Nicaragua que posteriormente se puedan replicar o mantener, con los recursos de los habitantes de la región. Buscamos que día tras día, haya más profesionales especializados en el campo de los biodigestores y que así, esta tecnología, pueda ser más popular y accesible en Nicaragua.

Tocamos así dos de los sectores prioritarios del Plan Director. En primer lugar el sector de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Humano, y en segundo lugar, cuando las instalaciones sean utilizadas por los productores llegaremos al sector del Desarrollo Rural.

El último beneficiario, el productor, tendrá la capacidad de dar un valor añadido a sus productos, y lo habrá hecho gracias a ingenieros locales que han aprendido a desarrollar este tipo de instalaciones.

Tanto el conocimiento como la tecnología queda dentro del país, dando un paso más en el desarrollo rural y científico.

### 4.2.-BIODIGESTORES FAMILIARES EN NICARAGUA

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en América Latina, sólo países como Cuba, Colombia, Brasil y la región del altiplano andino (Bolivia, Perú y Ecuador) tienen un buen desarrollo de este tipo de biodigestores.

La finalidad de este proyecto es fomentar el uso de biodigestores familiares en Nicaragua, entendidos como una “tecnología apropiada”, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular, y caracterizados por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción.

#### 4.3.- DEFINICIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA

Nuestro objetivo es desarrollar un biodigestor que se encuadre dentro de la definición de tecnología apropiada y apropiable. Apropiada a las necesidades y a los recursos de las personas a los que va dirigido y apropiable por esas mismas personas, que la han de ver como parte de su realidad, y no como un elemento extraño y de uso complejo.

Hay mucha controversia respecto a cómo definir tecnología apropiada, pero algunas de sus características generales son:

- La tecnología apropiada debe necesitar sólo pequeñas cantidades de capital.
- La tecnología apropiada debe dar prioridad, siempre que sea posible, a la utilización de materiales locales.
- La aplicación de las tecnologías apropiadas debe centrarse en soluciones tecnológicas que utilicen mucha mano de obra para que las personas de las comunidades puedan participar.
- La solución tecnológica que se ponga en práctica debe poder ser comprendida, controlada y mantenida por personas que no tengan un alto nivel de formación y de educación y debe poder adaptarse para incluir a las comunidades locales en los esfuerzos de innovación y de ejecución.
- Los efectos negativos sobre el medio ambiente deben evitarse y la solución tecnológica deberá ser sostenible [17]

#### 4.4.-FACTORES GEOGRÁFICOS

En Nicaragua, concretamente en la región de Carazo, existe una evidente relación entre las necesidades de combustible y una deforestación progresiva por demanda de leña.

La quema de estiércol o residuos agrícolas es un derroche de nutrientes. Los granjeros y ganaderos, precisan de fertilizantes para mantener el rendimiento del suelo de cultivo, creándose la paradoja que algunos continúan quemando residuos orgánicos aún sin poder permitirse la compra de fertilizantes químicos. Es especialmente importante para ellos aprovechar los escasos recursos de los que disponen, siendo esto posible con la tecnología del biogás: después de la extracción del contenido energético del estiércol o residuos orgánicos, el efluente es un buen fertilizante, que mantiene la calidad del suelo e incrementa el rendimiento de la cosecha [18].

La tecnología del biogás contribuye a la conservación y al desarrollo. Al reemplazar la energía tradicional, contribuye a la conservación, ya que, reemplaza las fuentes



combustibles fósiles, evita la contaminación del agua superficial y subterránea y favorece la calidad del suelo. Socialmente, beneficia a distintos grupos. A pequeña escala, con los biodigestores familiares, mejora la vida de familias, que con un mínimo de tres cabezas de ganado y un pequeño huerto, encuentran una fuente de energía que proviene fundamentalmente de desechos, en la mayoría de las ocasiones, poco o mal aprovechados para el abono de la tierra. A una mayor escala, si hablamos de biodigestores más complejos, también se benefician los industriales, las municipalidades, los gobiernos nacionales, los ingenieros, los encargados de mantenimiento y todos aquellos negocios que puedan surgir relacionados con la creación de un mercado de biodigestores.

#### 4.5.-FACTORES SOCIALES

A nivel social, el uso de biodigestores trae consigo las siguientes mejoras:

- Reduce el trabajo de los campesinos, principalmente de mujeres y niños, debido a que dejan de buscar leña para su uso en la cocina. Así mismo, evita que las mujeres, que son las que mayoritariamente se encargan de cocinar, inhalen los humos que se generan al quemar la leña, reduciéndose el número de enfermedades respiratorias. Por tanto, suponen una mejora de las condiciones de vida, en mayor medida, para las mujeres.
- Aumenta las condiciones higiénicas y de salud:
  - .-Reduce los patógenos;
  - .-Reduce la transmisión de enfermedades por mala disposición de los residuos;
  - .-Evita los problemas gastrointestinales por reducción de contaminación en las aguas residuales;

En términos generales, una población más sana, favorece un mayor desarrollo. Además, el uso de biodigestores, incrementa la disponibilidad de energía, mejorando las posibilidades de nutrición y por otro lado, el biol, aumenta el rendimiento de los campos.

Culturalmente, el hecho de disponer de energía facilita la interacción entre los miembros de la familia y de la comunidad

- Creación de un nuevo mercado, y por tanto, creación de empleo local para cubrir necesidades de construcción y mantenimiento.

No ha de obviarse, que también hay obstáculos sociales que pueden dificultar el uso de biodigestores. Por motivos religiosos o simplemente, por no considerar que el gas “obtenido de excrementos animales” sea adecuado para cocinar alimentos.

Para salvar estas barreras sociales, y poder llevar a cabo un proyecto exitoso de fomento de uso de biodigestores, hay que involucrar, desde el primer momento, a los distintos grupos implicados en el proceso de planificación: Los usuarios (Granjeros, ganaderos, familias en general), los técnicos y los gobiernos municipales.

**Usuarios:** Se ha visto en casos anteriores de aplicación de la tecnología en el país, que por muy buenos que fueran los diseños iniciales de los digestores, si los usuarios no

estaban implicados estas plantas dejaban de estar en funcionamiento mucho antes del final de su vida útil. El usuario será quien velará día a día para el correcto funcionamiento de la planta, así que deberá implicarse al máximo, entender la tecnología y tener voluntad e interés para que esta funcione.[19]

**Administraciones y gobiernos:** Estas deben considerar la mejora de la comunidad por la mejora de la calidad del medio, las mejoras en los rendimientos de las cosechas, la mayor autosuficiencia energética, etc. Los planes estratégicos de la comunidad pueden incluir la implantación de la tecnología anaerobia para la mejora de la calidad de vida. La administración deberá de dar soporte a la tecnología, en cuanto a promoción y divulgación entre la población.

**Técnicos:** Durante el proceso de planificación y estudio de la zona, la mayor interferencia para el ingeniero de diseño es el usuario de la planta. Sus expectativas o requerimientos deberán de considerarse en la medida de lo posible, puesto que el ingeniero es quien conoce la tecnología del biogás y deberá asegurar la fiabilidad y el buen funcionamiento de la planta a posteriori. A la vez, deberá de explicarse el porqué de las distintas consideraciones de la fase de planificación, puesto que así se asegura que el usuario se familiariza con la tecnología del biogás. [20].

Para terminar, ha de tenerse muy presente que hay que enseñar a las familias, que el biodigestor requiere un cuidado continuado y unas cargas periódicas, cuyo incumplimiento, lleva a fallos en el funcionamiento del mismo. Tener un biodigestor, puede llegar a ser una tarea pesada para aquellos que no estén familiarizados con el trato con el estiércol animal.

#### 4.6.-FACTORES AMBIENTALES

La implantación de biodigestores, mejora ampliamente las condiciones ambientales.

El uso de biogás como fuente energética, reducirá la tala de árboles, por lo que se evitará la deforestación y se mejorará el entorno. La implantación de esta tecnología es especialmente interesante en comunidades aisladas o alejadas de los circuitos de distribución de gas comercial.

Un beneficio a nivel más global es el de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estos gases provienen de la fermentación descontrolada de la materia orgánica en forma de metano u óxidos nitrosos (gases de alto efecto invernadero) o de la quema de recursos fósiles (aumentando la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera). El biogás evita la fermentación de la materia orgánica, ahorra en combustibles fósiles y preserva los sumideros de captación de carbono.

Un factor muy importante en el éxito de los sistemas de biodigestión, es el clima, ya que condiciona los regímenes de trabajo y el rendimiento del mismo

En principio se tiene que la digestión anaerobia es posible entre 3 y 70<sup>0</sup> C, aunque la cantidad de gas formado se incrementa con la temperatura de trabajo. En general se tendrá que las plantas de biogás sin calentar, funcionan correctamente en aquellos lugares donde la media anual de temperaturas es de 20<sup>0</sup>C, aceptando hasta un mínimo de 18<sup>0</sup>C de temperatura media. Si la temperatura que alcanza la biomasa está por





debajo de 15<sup>0</sup>C, la producción de biogás será tan baja que no será económicamente factible la explotación de la planta. [20]

Las precipitaciones han de tenerse también en cuenta. En las temporadas secas, cuando las lluvias escasean, la disponibilidad de agua disminuye, así como, los pastos de los animales, lo cuál afecta directamente a la cantidad de estiércol y a la calidad del mismo (en términos de rendimiento del proceso de digestión). Por el contrario, si las lluvias son intensas, puede aumentar el nivel freático y crear problemas a los biodigestores enterrados.

Generalmente, los climas más favorables son los tropicales selváticos, los tropicales montañosos, sabana húmedo y clima de sabana árido [20]. En particular, el clima de Jinotepe (lugar dónde se desarrolla este proyecto) es de sabana tropical.

#### 4.7.-FACTORES ECONÓMICOS

El caso particular de biodigestor que presentamos en este proyecto, se caracteriza por ser muy económico (menos de 150\$), puesto que, lo que perseguimos, es demostrar que esta tecnología puede estar al alcance de la mayoría de las familias nicaragüenses que lo deseen instalar.

Aún así, contar con subenciones de órganos institucionales, serviría de fomento para el uso de esta tecnología.

- **Análisis microeconómico**

A nivel microeconómico, el biodigestor familiar de bolsa de bajo coste, que presentamos en este proyecto, posee un gran impacto en las condiciones de vida de las familias que lo instalen, puesto que, se trata de un proyecto de muy bajo presupuesto, cuya inversión inicial es muy pequeña y cuyos beneficios mejoran cualitativamente el estilo de vida de las personas que viven en condiciones de pobreza.

- **Análisis macroeconómico: Mercado de los bonos de carbono y mecanismo de desarrollo limpio (MDL)**

El aprovechamiento energético de los residuos ganaderos tiene un doble efecto positivo: reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y reducción de las emisiones equivalentes debidas a la fuente fósil que se sustituye. Este doble efecto sólo se consigue si se optimiza tanto la producción como el uso de la energía obtenida en forma de biogás.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kioto establecido en su artículo 12, que permite a los gobiernos de los países industrializados (también llamados países desarrollados o países del Anexo1 del Protocolo de Kioto) y a las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) suscribir acuerdos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) en el primer periodo de compromiso comprendido entre los años 2008 - 2012, invirtiendo en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo (también denominados países no incluidos en el Anexo 1 del Protocolo de Kioto) como una alternativa para adquirir reducciones certificadas de emisiones (RCE) a menores costos que en sus mercados.

En teoría, los MDL permiten una drástica reducción de costos para los países industrializados, al mismo tiempo que éstos se hacen de la misma reducción de emisiones que obtendrían sin los MDL. El MDL permite también la posibilidad de transferir tecnologías limpias a los países en desarrollo. Al invertir los gobiernos o las empresas en estos proyectos MDL reciben reducciones certificadas de emisiones RCE (uno de los tres tipos de bonos de carbono) los cuales pueden adquirir a un menor costo que en sus mercados y simultáneamente logran completar las metas de reducciones a las que se han comprometido [21].

Nicaragua, figura como uno de los países de mundo con menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Según un estudio realizado en el año 2007, por la EIA (Administración de información energética), se sitúa en el puesto 124 del ranking mundial de emisiones. Por tanto, un apoyo del gobierno al uso de energías renovables como, la implantación de biodigestores, supondría no sólo los beneficios antes comentados, sino también, una puerta abierta a ingresos provenientes de los diferentes mecanismos propuestos por el protocolo de Kioto, con países como China, E.E.U.U, Rusia o India, conocidos por sus altas cotas de emisiones contaminantes. [22]

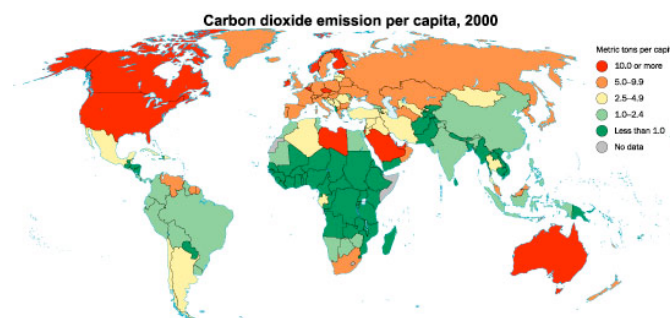


Figura 12. Mapa de emisiones de CO<sub>2</sub>.Fuente: World Bank

## 5. FASES DEL DESARROLLO DEL BIODIGESTOR FAMILIAR DE BOLSA EN JINOTEPE

---

### 5.1.-CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE CARAZO Y EL MUNICIPIO DE JINOTEPE

#### 5.1.1.-Información general de la región de Carazo

- Marco Histórico: El nombre de Carazo proviene del homenaje al Presidente Evaristo Carazo (1887-1889) y fue elevado al rango de Departamento el 17 de Abril de 1891.
- División política administrativa: Está conformado por ocho municipios; San Marcos, Jinotepe (cabecera departamental), Dolores, Diriamba, El Rosario, La Paz de Carazo, Santa Teresa y La Conquista.
- Ubicación: Carazo se encuentra en la región sur del país entre los  $11^{\circ}30'1''$  y  $11^{\circ}54'1''$  de latitud Norte y  $86^{\circ}10'$  y  $86^{\circ}27'$  de longitud Oeste.
- Límites: Limita al Norte con el departamento de Managua y la ciudad de Masaya. Al sur, con Rivas y el Océano Pacífico. Al Este, con Masaya y Granada y al Oeste con Managua y el Océano Pacífico (Fig.9)
- Extensión territorial:  $1.081 \text{ Km}^2$ , lo que representa un 0.9% de la superficie nacional. Es el tercer departamento más pequeño de Nicaragua.
- Población: 186.541 habitantes (dato 2005), con una densidad de 172 habitantes/  $\text{Km}^2$ . El 52% son varones y el 38% de la población total, se ubica en la zona rural [23].

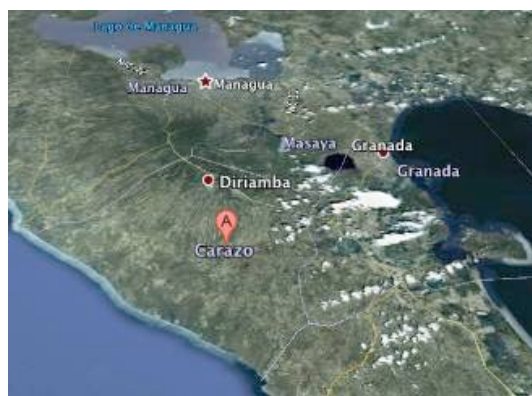


Figura 13: Mapa Nicaragua. Fuente Google earth, [9 de Abril de 2012]



### 5.1.2.- Información general municipio de Jinotepe

Ciudad fundada el 11 de febrero de 1883. Su nombre proviene de las voces náhuatl, XILOT, es decir mazorca de maíz o chilote y TETELT, que significa campos, por lo que su nombre se traduce a “Campos de Chilotes o Maizales”.

Jinotepe es la cabecera departamental de la región de Carazo. Su economía se basa principalmente en la agricultura y en el pasado fue uno de los mayores productores de café del país.

En el municipio de Jinotepe reside, aproximadamente, el 25% de la población de la región de Carazo [24].

La construcción del biodigestor se lleva a cabo en la finca Santa Elena, situada en el municipio de Guisquiliapa, en la ciudad de Jinotepe.

### 5.1.3.-Clima

El clima de la región de Carazo es fresco, especialmente en la meseta, con una temperatura media anual de 22.5 a 26.5<sup>0</sup>C, que aumenta progresivamente a medida que se baja rumbo al mar [23].

En particular, el clima de Jinotepe es semi-húmedo, de sabana tropical y la temperatura promedio es de 24<sup>0</sup>C [24].

### 5.1.4.- Situación social

El principal problema de la población son las pocas alternativas para garantizar una seguridad alimentaria. La flora y la fauna es cada vez más escasa, debido a que la población despala los bosques en busca de fuentes energéticas para la cocción de sus alimentos, lo que trae como consecuencia directa alteraciones en el comportamiento natural del clima, los suelos se vuelven cada vez más frágiles siendo proclives a mayores desastres naturales, etc.

La pobreza del departamento de Carazo, se da principalmente en la zona rural, y provoca que el 40% de las familias emigren a ciudades en busca de oportunidades que no encuentran en el campo, o muchos de ellos, emigran al vecino país de Costa Rica. En la tabla siguiente se muestran datos de emigración y porcentaje de pobreza de los ocho municipios de la región.

MUNICIPIO	POBLACIÓN	EMIGRANTE	% EMIGRACIÓN	POBREZA (%)
Jinotepe	47,115	15,870	34	13.8
Diriamba	60,717	15,350	25	13.9
San Marcos	35,015	5,184	15	16.2
Santa Teresa	21,290	5,769	27	20.1
La Conquista	4,215	1,339	28	25.1
La Paz	5,351	1,200	22	22.4
Dolores	7,719	889	12	11.6
El Rosario	5,119	733	14	17.1
<b>TOTAL</b>	<b>186,541</b>	<b>46,334</b>	<b>25</b>	

Tabla 6: Emigración y pobreza. Fuente INEC

## 5.2.- ENSAYOS PREVIOS EN EL LABORATORIO DE LA UNAN-FAREM DE CARAZO: MODELO TEÓRICO DE BIODIGESTOR.

### 5.2.1.- Introducción

En paralelo con el diseño y construcción del biodigestor en la finca Santa Elena, se llevaron a cabo una serie de experimentos, cuya finalidad era optimizar la producción de biogás.

Los laboratorios utilizados fueron los de la UNAN-FAREM de Carazo.

### 5.2.2.-Estructura del modelo

Se realizaron tres experimentos distintos:

#### 1. Determinación del contenido de humedad del estiércol fresco. Anexo 1.

Para la realización de este experimento, se necesitó un horno que alcanzara 550<sup>0</sup>C, recipientes de aluminio desechables, una balanza, guantes de latex, y estiércol fresco.

Se tomaron tres muestras distintas, y según describe el anexo 1, se introdujeron en horno. Tras 6-7 horas a 105<sup>0</sup>C, se evaporó el agua, y obtuvimos lo que se llama, la masa seca. Posteriormente, se metió en horno, hasta alcanzar 550<sup>0</sup>C, y obtuvimos el peso de las cenizas.

Con estos datos, como muestra el anexo 1, obtenemos el porcentaje de sólidos volátiles de la mezcla.

#### 2. Determinación de la producción de biogás. Anexo 2.

Este experimento y el siguiente se llevaron a cabo del mismo modo, con los mismos instrumentos de medición y recursos. La diferencia entre ellos, es que con el primer experimento nos iniciábamos en la técnica y en el desarrollo del modelo y con el segundo, lo que se hizo, fue una comparativa entre cuatro disoluciones distintas.

Se requiere: un baño maría, botellas de refresco vacías, guantes de latex, una balanza, sondas de suero, probetas de plástico, soportes para meter en el baño maría las botellas y las probetas.

El procedimiento se explica detalladamente en el anexo 2.

Lo que se persigue es simular la digestión anaerobia, en unas condiciones controladas de presión y temperatura. El modelo de biodigestor, es la botella de refresco, cerrada herméticamente y que contiene en su interior la mezcla de agua y estiércol. Mediante unos soportes, se mete dentro del baño maría, a temperatura constante de 37<sup>0</sup>C.

Como muestra la fotografía, de la botella, sale una sonda, que será la que transporte el gas que se vaya generando durante el proceso de digestión anaerobia.

El modo de medir el gas generado será mediante una probeta, dada la vuelta y que no toque el fondo del “baño maría”, (también sujeta mediante soportes), a la que llegará la sonda, y dónde iremos tomando medidas del descenso del nivel de agua, provocado porque el gas proveniente del “modelo de biodigestor” va llenando el volumen de la probeta y empuja el agua hacia fuera de la misma.

La sonda ha de sobresalir por encima del nivel de agua dentro de la probeta.

### 3. Búsqueda de la proporción óptima de agua y estiércol. Anexo 3.

Este experimento es exactamente igual del anterior. Únicamente se diferencia en que se lleva a cabo con cuatro modelos de biodigestor al mismo tiempo: cuatro botellas, con cuatro disoluciones distintas. Todas ellas tienen la misma materia prima, y se diferencian en la cantidad de agua.

Como se explica en el anexo 3, se compara la producción de gas de cada una de ellas y se concluye cuál es la mezcla óptima en términos de producción de gas en un tiempo fijo.



Fotografías que muestran los modelos de biodigestor en el baño maría.

#### 5.2.3.-Objetivos del modelo

El objetivo del modelo es conocer las características del estiércol con el que vamos a trabajar en el biodigestor real y decidir cuál será la proporción óptima que nos facilitará una mayor producción de gas en el biodigestor.



#### **5.2.4.-Datos de entrada y salida del modelo**

Todos los datos del modelo, están recogidos en los anexos 1, 2 y 3.

#### **5.2.5.-Análisis de los datos de entrada y salida**

Tanto el análisis como las conclusiones, se recogen los anexos 1, 2 y 3.

### **5.3.- DISEÑO DEL BIODIGESTOR**

#### **5.3.1.-Descripción de la finca y del ganado**

El biodigestor modelo de estudio, se construye en la finca Santa Elena (Km50 de la carretera sur, del Puente del Rosario 200 mts abajo) situada en Guisquiliapa, en el municipio de Jinotepe.

Posee una extensión de 20 manzanas.

En el momento de la puesta en marcha del biodigestor, el dueño de la finca tiene 30 cabezas de ganado bovino, que permanecen 12 horas en el establo y el resto del tiempo pastando en los alrededores.

El ganado se alimenta de pienso, pasto y en ocasiones de frijoles. Cada vaca produce aproximadamente entre 18 y 19 Kg de excremento diario, pero, dado que no todo el excremento es depositado en las vaquerizas, se calcula que el excremento efectivo disponible por vaca no supera los 7 Kg por día.

#### **5.3.2.-Obtención y accesibilidad de los materiales**

Como se ha especificado al inicio del documento, uno de los objetivos principales del proyecto, es la construcción de un biodigestor de bajo coste con materiales obtenidos en Jinotepe o alrededores, o de modo excepcional, en la capital Managua.

Nuestro propósito, es demostrar, que efectivamente se puede construir un biodigestor de bajo presupuesto, con materiales de la región y fácilmente accesibles para cualquier ciudadano nicaragüense.

La mayoría de los materiales utilizados, con excepción de la bolsa plástica, fueron comprados en las ferreterías de la ciudad de Jinotepe y trasladados a la finca gracias a los recursos proporcionados por la FAREM-Carazo.

La bolsa plástica, fue conseguida con dificultad, pues actualmente no existe mercado de biodigestores en el país y es ciertamente complicado encontrar un distribuidor.

En el municipio de Dolores, existe una planta de producción de plásticos, de la empresa PLASTINIC, con maquinaria industrial de dimensiones específicas orientadas a la producción de plásticos de dimensiones menores que las que se requieren para la



bolsa de un biodigestor familiar. En un primer momento, y dada la ausencia de alternativas, se decidió realizar la construcción de un primer biodigestor con la bolsa que la empresa PLASTINIC nos cedió de manera gratuita. Se trataba de una bolsa de “carpa negra de polietileno de baja densidad con un grosor de 10 milésimas”. Desafortunadamente dado que ni las especificaciones técnicas del plástico ni las dimensiones de la bolsa eran las adecuadas, no se tuvo éxito en este primer biodigestor. Finalmente, la empresa GARZEL S.A., una empresa especializada en maquinaria agrícola situada en Managua, nos facilitó la bolsa para la construcción del segundo y exitoso biodigestor.



Facturas que prueban la adquisición de los materiales en la región

### 5.3.3.- Lista de materiales

- .-Bolsa plástica de polietileno transparente, de 16 milésimas de grosor y dimensiones (10m largo y 2.5m de ancho (Semicircunferencia))
- .-Tubo de PVC de 6" (1.5m)
- .-Tubo PVC blanco ½" (El largo depende de la distancia de la cocina al biodigestor)
- .-1 unión roscada de PVC de ½"
- .-2 Codos PVC ½ "
- .-4 cámaras de llantas de bicicleta, motocicleta o automóvil (pueden valer usadas pero nuevas son más resistentes)
- .-1 Bote Silicón rojo
- .-Pegamento PVC
- .-Adaptador macho PVC de ¾ "
- .-Adaptador hembra PVC de ¾ "
- .-Reductor PVC de ¾ a ½ "
- .-Camisa o unión lisa PVC de ½ "
- .-2 Arandelas metálicas de ½ "





- .-Plástico aislante para las paredes de la fosa
- .-Alambre
- .-Botella de refresco de 2litros, que será la válvula de escape del gas.
- .-2 Te PVC de ½ “
- .-2 Llaves de pase de PVC de ½ “
- .-Uniones de PVC de ½ “
- .-2 Baldes plásticos de 5 galones
- .-Paja
- .-Cal
- .-Cemento
- .-Arena
- .-Agua
- .-Cinta de teflón

#### **5.3.4.- Lista de herramientas**

- .-Sierra para cortar las tuberías
- .-Tijeras para cortar el hule
- .- Pala para cavar
- .-Cinta métrica
- .-Martillo
- .-Alicates
- .-Taladro (en caso de que se necesite hacer algún agujero en el tubo de 6”)
- .-Nivel (para construir las rampas de entrada y salida del biodigestor)

#### **5.3.5.- Presupuesto**

Todos los materiales fueron adquiridos en las ferreterías de Jinotepe, excepto la bolsa plástica, que fue facilitada por la empresa Garzel S.A.

La cuantía final del biodigestor ascendió a un total de 2550 córdobas, que en dólares equivale aproximadamente a \$110.

En el presupuesto no se ha tenido en cuenta ningún coste relativo a mano de obra, exclusivamente de material adquirido.

Ha de constar que, dado que en Nicaragua no existe mercado de biodigestores, la bolsa plástica facilitada por la empresa Garzel, fue obtenida prácticamente a precio de costo; así como, el plástico utilizado para la impermeabilización de la fosa, que fue un obsequio de la empresa Plásticos Modernos, situada en el municipio de Dolores, próximo a Jinotepe.

En cualquier caso, la suma total del biodigestor, no pasaría de los \$150, un presupuesto, muy por debajo de los biodigestores de este tipo construidos hasta el momento.

## 5.4- PROCESO CONSTRUCTIVO

### 5.4.1.-Cálculos

Las especificaciones técnicas del biodigestor:

- **Tamaño de la fosa:** 8m de largo, 80 cm de profundidad, 1m de ancho
- **Tamaño bolsa plástica:** 2.5m de semicircunferencia (al ser cilíndrica, es la medida del ancho de la bolsa), por tanto, el radio  $\pi \cdot R = 2.5$ ,  $R = 0.79$ m. Longitud 10m.
- **Volumen del biodigestor:** Para calcular el volumen del biodigestor, hemos de tener en cuenta que la bolsa se acomodará a las dimensiones de la fosa. Nos ayudaremos del esquema siguiente para la explicación de los cálculos:

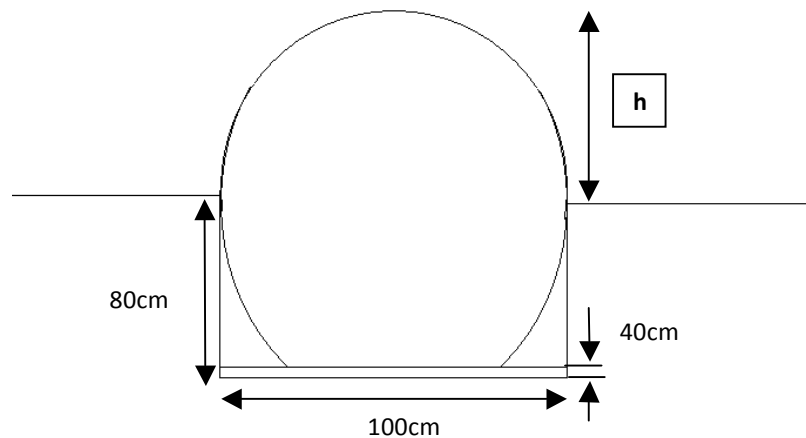


Figura 14

$$70+70+100=240\text{cm}$$

$$500-240=160\text{cm}$$

$$160/2=80\text{cm}$$

Por tanto, la altura **h** aproximada que alcanzará el biodigestor por encima del suelo, una vez inflado, será de 80cm.

Este dato es realmente importante, para decidir la longitud de la tubería que saldrá en vertical del biodigestor, y evitar problemas como que choque con el tejado que cubre la fosa.

- **Inclinación de las tuberías de entrada y salida:**

La tubería de entrada tendrá una inclinación de  $30^{\circ}$  sobre la horizontal y la de salida, de  $45^{\circ}$  sobre la horizontal.

En el proceso constructivo, se explica cómo proceder a su construcción.

- **Volumen de mezcla en el biodigestor:**

El volumen de mezcla tiene que tapar las entradas de aire. Por tanto, mínimamente, tiene que estar a una altura del suelo de 40cm más el diámetro del tubo.

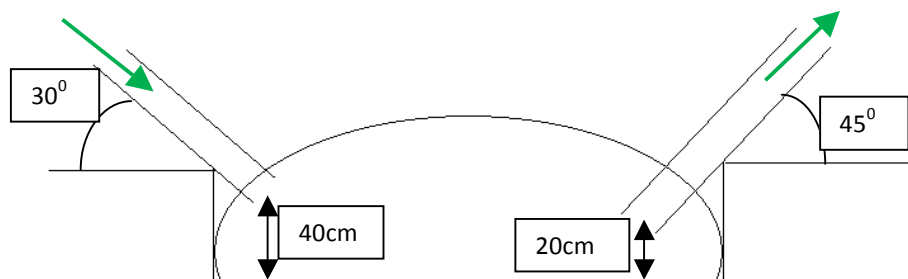


Figura 15

$$40 \times 800 \times 100 = 3.2 \times 10^6 \text{ cm}^3 = 3200 \text{ l de mezcla}$$

#### 5.4.2.-Construcción. Paso a paso.

1. Cavar la fosa con las dimensiones adecuadas para alojar el biodigestor: 8m de longitud, 1m de ancho y 0.8 m de profundidad. Al cavar la zanja es importante considerar que los lados y el piso deben ser lisos, sin piedras o raíces que sobresalgan y puedan dañar la bolsa de plástico. La tierra que se saca de la zanja deberá ser llevada lejos de los bordes, de manera que no caiga sobre el plástico a causa de movimientos alrededor del biodigestor o por las lluvias.



2. La bolsa plástica medirá 10m, dos metros más que la fosa, para ganar un metro por cada extremo de la bolsa y poder amarrar la entrada y la salida del biodigestor.
3. Cortamos dos trozos de tubería de PVC 6": 65 cm (entrada) y 75 cm (salida).



4. Cortamos el hule de las llantas (recámara de la rueda) en tiras de unos 5 cm de ancho y con un par de tiras, forramos un extremo de cada tubo. Esta parte de los tubos será la que irá dentro de la bolsa. El objetivo es evitar cualquier daño en la misma.





5. Para acomodar las tuberías de entrada y salida tenemos que hacer unas rampas con una inclinación de  $60^{\circ}$  sobre la horizontal, para la entrada y de  $45^{\circ}$  sobre la horizontal para la salida. Procedemos del siguiente modo:
  - 5.1. Empezaremos por el extremo de la fosa donde estará situada la salida del biodigestor: a 30 cm de la fosa y centrado, situamos el balde dónde caerá el biol. El balde irá introducido en el suelo, por lo que cavaremos un agujero que lo aloje pero no completamente enterrado en el suelo (habrá que ir tanteando según se haga la rampa y vamos probando cómo queda acomodado el tubo).



- 5.2. La tubería de salida tiene que quedar con una inclinación de  $45^{\circ}$  y dentro de la fosa, a 20 cm por encima del fondo, además tiene que reposar en el balde, para que cuando salga el compost, éste caiga dentro.
  - 5.3. Para ello, tenemos que hacer un corte en el balde, en forma de semicírculo desde la boca del balde. Lo cortaremos con una hoja de sierra.





- 5.4. Haremos una rampa en el suelo, que comunique el balde con el interior de la fosa y dónde descansará la tubería. La rampa tiene que ser de  $45^{\circ}$ . Nos ayudamos con el nivel.
- 5.5. Para la entrada, seguimos el mismo procedimiento, pero esta vez, la inclinación de la rampa ha de ser de  $60^{\circ}$  y dentro de la fosa, el tubo ha de quedar a una altura de 40 cm sobre el fondo. Para ello, situamos el balde a 15 cm de la fosa, e igualmente lo enterramos en el suelo.



- 5.6. Para la entrada, se recomienda que al final de la construcción, el balde se sustituya por una caja de hormigón, a modo de embudo, que haga más fácil la carga del biodigestor.



6. Rociar de cal las paredes de la fosa.



7. Cubrir el fondo de la fosa con la paja, con el fin de conseguir una superficie blanda para el biodigestor.



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



8. Cubrir las paredes y el fondo de la fosa con el plástico aislante





**FINALIZADA LA PREPARACIÓN DE LA FOSA, COMENZAMOS CON EL MONTAJE DE LA BOLSA DEL BIODIGESTOR.**

1. Extender la bolsa plástica sobre una superficie limpia. A cinco metros de uno de los extremos, y en la mitad de la bolsa situaremos el orificio de salida del gas.



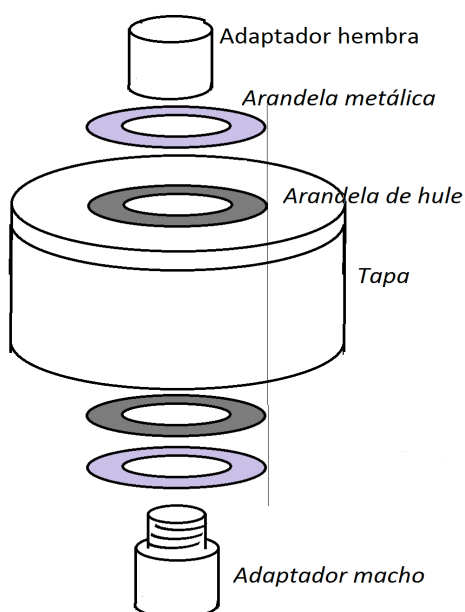
2. Para ello seguimos los siguientes pasos:
  - 1.1. Con unas tijeras, hacemos un agujero de  $\frac{1}{2}$  " en la superficie de la bolsa.



1.2. Cortamos dos trozos de hule de 5cm<sup>2</sup>, que evitarán cualquier posible fuga.



1.3. Con las dos arandelas metálicas y los adaptadores macho y hembra de PVC, montaremos lo siguiente de dentro hacia fuera de la bolsa: adaptador macho, arandela, hule, bolsa, hule, arandela, adaptador hembra y reductor.



1.4. Al adaptador hembra, le unimos el reductor y a él, le uniremos posteriormente la tubería por la que circulará el gas.

1.5. Para realizar este montaje, es necesario que una persona se introduzca dentro de la bolsa con el adaptador macho, la arandela y uno de los trozos de hule y desde el exterior, otra persona, coloque el otro hule, la arandela y el

adaptador hembra. Juntos han de roscar los adaptadores y apretarlos bien para evitar fugas futuras. Por la parte exterior, sellamos con silicón rojo el contorno del adaptador. **¡OJO! SÓLO SE UTILIZA EL SILICÓN ROJO POR FUERA DE LA BOLSA.** Cualquier gota de silicón o pegamento que caiga dentro de la bolsa, perjudicará la reacción de fermentación del biodigestor.



2. Ahora vamos a fijar los tubos que serán la entrada y la salida del biodigestor. Para ello necesitamos tubo de PVC de 6" y hule. Cortamos tiras de hule que servirán para amarrar la bolsa a la tubería.
  - 2.1. Agarramos el tubo de 65 cm y lo introducimos en la bolsa 30 cm (se dejan 35 cm por fuera)
  - 2.2. Lo situamos en la mitad de su longitud y una persona se encarga de mantenerlo en ese lugar.
  - 2.3. Mientras, dos personas, se ponen a ambos lados y van doblando la bolsa como un acordeón. Cada doblez se va traslapando con el anterior. Hacemos dobleces de unos 25 cm de ancho y vamos desde el exterior de la bolsa hacia el tubo, hasta que quede cubierto con la bolsa.



- 2.4. Para amarrar el hule no se hacen nudos, sino que se solapa el final de la tira de hule con el propio hule de la vuelta anterior. OJO!!! Cualquier arruga en la bolsa, puede provocar un escape para el gas, por lo que esta operación tiene que hacerse al menos entre tres personas para que el hule quede bien apretado.
- 2.5. Repetimos los pasos con la otra tubería, que será la salida del tubo.
3. Ya estamos preparados para llevar a la fosa el biodigestor, acomodarlo con cuidado en la fosa evitando cualquier arruga en el fondo del mismo y siendo cuidadoso para que la salida del gas quede centrada con respecto a la bolsa. OBSERVACIÓN: Se requerirá al menos la ayuda de cuatro personas para transportar el biodigestor y evitar así que roce con cualquier elemento en el suelo que lo pueda dañar.





4. Por último realizamos la instalación de las tuberías de PVC de  $\frac{1}{2}$ " por las que el gas llegará a la cocina.
- 4.1. El primer tramo de tubería es el que sale directamente de la bolsa en vertical hacia arriba. Dado que la bolsa, una vez llena va a alcanzar una altura aproximada por encima del suelo de 80cm, cortaremos un trozo de 50 cm, en ella, situaremos la primera llave de paso. Para ello, cortaremos en dos el trozo de tubo y lo pegaremos a ambos lados de la llave de paso con pegamento PVC. RECOMENDACIÓN: Para conseguir que las uniones con pegamento sean seguras, se debe introducir y girar  $\frac{1}{4}$  de vuelta a la vez que se hace presión.





4.2. Pegamos un codo de PVC de  $\frac{1}{2}$ " liso en el extremo del tubo de 50cm.

5. Una vez acomodada la bolsa, cortamos un trozo de 1.5m de tubo PVC de  $\frac{1}{2}$ " y lo pegaremos al codo que pegamos al tubo que sale de la bolsa. A continuación pegamos una "te". En ella colocaremos la válvula de seguridad (botella de refresco) del biodigestor que evitará problemas relacionados con la presión del gas en el interior de la bolsa.

#### 6. VÁLVULA DE SEGURIDAD:

- 6.1. Cortaremos un trozo de tubo de 20 cm, que pegaremos en la parte inferior de la Te y que irá introducida en una botella de refresco de 2litros, que llenaremos de agua hasta la mitad y a la que haremos un orificio de unos  $2\text{cm}^2$  en la parte superior, cerca del tapón. La botella se debe sujetar con alambre al techo o a otro lugar distinto de la tubería, puesto que es muy pesada.



6.2. De la Te saldrá el tubo que llegará hasta la cocina. La longitud de esta instalación dependerá de la distancia entre la cocina y el biodigestor. Dado que los tubos de PVC de  $\frac{1}{2}$ " son de 6m, seguramente se necesitarán uniones lisas y codos lisos para la instalación. Todas las uniones deben asegurarse con pegamento para PVC.

#### 5.4.3.- Consejos útiles

- Para conseguir fijar las tuberías de entrada y salida a las rampas dónde se apoyan, se pueden asegurar con unos anillos de hierro, con forma de semicircunferencia y clavados en la tierra.



- También se pueden hacer dos taladros en el tubo y pasar un alambre que irá tenso, clavado al suelo a los lados de la fosa y que sostendrá el tubo.



- Es recomendable sostener con el alambre las tuberías del techo.
- Se recomienda situar una llave de purga en algún punto a lo largo del recorrido de tubería después de la válvula de seguridad (Botella) . Dado que existe condensación de agua en las canalizaciones y puede taponar las mismas, creando problemas de continuidad en el suministro de biogás e incluso explosiones por acumulación.  
Mediante una Te. La llave se sitúa en la parte central, pegada a un trozo de tubo por uno de sus extremos.



- Es muy importante que el biodigestor no tenga ninguna fuga. Los puntos críticos dónde pueden darse son las uniones de la bolsa con las tuberías de entrada y salida del biodigestor. Con el objetivo de asegurar esto, rodeamos la yanta con alambre, dándole varias vueltas.





- Sellar con cinta de teflón las uniones de la tubería con la entrada de la cocina.

### 5.5.- Particularidades

Dado que se trata de un biodigestor experimental, cuenta con una serie de particularidades:

- Se han situado en él, distintas salidas para la realización de experimentos. La primera de ellas está situada antes de la botella de seguridad. Con ella se pretende hacer ensayos para determinar experimentalmente el contenido de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CH}_4$  aproximado del gas. La segunda de ellas, se sitúa después de la rueda de camión, con el objetivo de ser una llave de purga, para eliminar el gas que tenga un alto contenido de  $\text{CO}_2$  así como, para hacer ensayos experimentales de quemado de gas sin correr riesgos de que la llama retroceda al biodigestor, sino que se quede en el segundo almacén de gas (la rueda de camión).
- Se cuenta con un segundo almacén de biogás, una rueda de camión, situado después de la válvula de seguridad (botella de refresco).

Esta yanta, se instaló con el objetivo de poder trasladar gas al laboratorio y realizar mediciones y experimentos.



- Se han situado por tanto varias llaves de paso que abren/cierran las distintas salidas. La única que debe estar siempre abierta POR MOTIVOS DE SEGURIDAD, es la que sale directamente de la bolsa del biodigestor. Esta llave sólo se cerrará cuando se hagan trabajos de implementación del biodigestor, para evitar que se vacíe.

## 5.6.-Protección de la zona de trabajo

El biodigestor necesita ser protegido de todo aquello que suponga un riesgo para su correcto funcionamiento. Es recomendable que no se sitúe al alcance de niños, que por curiosidad o jugando, pueden dañar la bolsa.

Así mismo, los animales sueltos, pueden arañar la bolsa plástica y acabar así con el biodigestor.

La principal desventaja de este tipo de tecnología es la facilidad con la que se puede pinchar la bolsa, por lo que se recomienda construir un cerco alrededor de la zanja, así como un techo para proporcionarle sombra, ya que la exposición a luz solar, puede suponer también un riesgo para la bolsa de polietileno



## 5.7.-Puesta en marcha

Para la puesta en marcha seguimos las conclusiones obtenidas de los ensayos del laboratorio.

Según los resultados arrojados por los ensayos con los modelos de biodigestor, la proporción óptima que generaba mayor proporción de gas era de 1:1 (Ver ANEXO 2). Dado que la mezcla contenía poco agua, se complicaba mucho su disolución. Por lo que se decidió modificar y finalmente la proporción fue de 1:1,7 (1Kg de excremento por cada 1,7l de agua).

Una vez decidido la proporción de la mezcla, tuvimos que calcular el volumen de mezcla a introducir en el biodigestor. El objetivo es que la mezcla de agua y excremento tape tanto la entrada como la salida del biodigestor y se consiga así un entorno anaerobio.

## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR CARAZO - NICARAGUA



Para ello, tuvimos en cuenta en nuestros cálculos las dimensiones de la fosa, el volumen de la bolsa plástica, las longitudes de los tubos de entrada y salida del biodigestor y la inclinación de los mismos (ver anexo con los cálculos).

La cantidad inicial de mezcla fue: 1600Kg de estiércol y 2700l de agua, es decir, un total de 4300l de mezcla ( $4.3 \text{ m}^3$ ).

Una vez conocida la cantidad de mezcla, es el momento de proceder a la recogida de los excrementos y a la mezcla con el agua.

Se recomienda usar como base de cálculo baldes de 15l, y hacer la mezcla en bidón más grande, de dónde se llenarán baldes para llenar el biodigestor.

La mezcla ha de estar bien diluida. No debe contener grumos y ser lo más homogénea posible. Para ello se requiere agitarla con un palo, y si es necesario, disolver los grumos con las propias manos.





Una recomendación muy importante a tener en cuenta en la primera carga, es llenar el biodigestor poco a poco **SÓLO CON AGUA**, y aprovechar para acomodar la bolsa y evitar pliegues y arrugas, que en el futuro, pueden generar problemas como la rotura de la bolsa.





## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

---

### 6.1.-INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La recogida de datos y los experimentos, se llevaron a cabo en dos escenarios diferentes: en los laboratorios de la FAREM-Carazo y en la Finca Santa Elena, dónde se construyó el biodigestor.

Cada experimento tenía un objetivo distinto y se realizaron en dos etapas: la primera de ellas, antes de la construcción del biodigestor y la segunda, en la que el campo de trabajo era el propio biodigestor.

Durante la primera fase, el objetivo de los experimentos era conocer las características de la materia prima con la que íbamos a alimentar el biodigestor así como, la proporción óptima de mezcla que optimizara la producción de biogás.

Los experimentos que se llevaron a cabo, fueron los siguientes:

- Determinación del contenido de humedad (ANEXO 1)
- Producción de gas. Biodigestor modelizado en el laboratorio (ANEXO 2)
- Producción óptima de agua y estiércol (ANEXO 3)

Una vez construido el biodigestor, nuestro objetivo era cuantificar en la medida de lo posible, la producción de biogás y el poder calorífico del mismo. A lo largo del proceso de fermentación, se llevó a cabo un minucioso seguimiento de la evolución del proceso. Así mismo, se llevó a cabo una toma de datos del porcentaje de materia orgánica del compost.

- Primera carga (ANEXO 4)
- Seguimiento de la evolución del biodigestor (ANEXO 5)
- Producción de biogás (ANEXO 6)
- Porcentaje de materia orgánica del compost (ANEXO 7)
- Poder calorífico del gas (ANEXO 8)



Fotografías que muestran la combustión del gas metano (izquierda) y el compost expulsado por el biodigestor (derecha)

## 6.2.-RECOGIDA DE DATOS

En cada anexo, se explica detalladamente el procedimiento de la toma de datos, los resultados y las conclusiones



## 7. CONCLUSIONES

---

### 7.1.- CONCLUSIÓN GENERAL

La conclusión general del proyecto es que efectivamente es posible construir un biodigestor, con materiales obtenidos en Nicaragua y con muy bajo presupuesto. El biodigestor construido en este proyecto, excede las dimensiones de un biodigestor que satisficiera las necesidades energéticas para cocinar, de una familia media nicaragüense, de 4 miembros.

Ante todo, el biodigestor se construyó con fines didácticos, para que sirviera como punto de partida de futuros proyectos en los que se investigara más en profundidad sobre la cinética de la producción de gas, el volumen acumulado, la proporción óptima de excrementos, etc.

### 7.2.-LECCIONES APRENDIDAS

Son muchas las lecciones aprendidas durante los 4 meses que viví en Jinotepe. La experiencia de vivir en una realidad social tan distinta a la que habitualmente me rodea, me ha enseñado mucho tanto en el terreno profesional y técnico como en el personal.

Tener la posibilidad de conocer aquellos errores en los que incurrieron otros antes que nosotros, es una herramienta muy valiosa a la hora de llevar a cabo un proyecto, aunque sea algo que no se reconozca hasta que uno echa la vista atrás y se dice aquello de: "si yo lo hubiera sabido antes..." por tal motivo, recomendamos encarecidamente al lector, que preste atención a este apartado del documento y lo tenga presente durante la ejecución del biodigestor.

- **Lecciones técnicas**

1. Tener una fuente de agua cerca de dónde se vaya a construir el biodigestor, ahorrará mucho tiempo y esfuerzo cuando haya que cargarlo. En nuestro caso, teníamos que trasladar agua en carros como el que se ve en la foto.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



2. Asegurar bien la entrada del biodigestor por dónde se echará la mezcla, de lo contrario, con la fuerza del caudal, la tubería se puede escurrir y ocurrir lo que se muestra en la fotografía. Después de aquello, tuvimos que limpiar la fosa y comenzar de nuevo.



3. El plástico elegido para la bolsa del biodigestor, ha de ser suficientemente flexible y grueso para soportar las tensiones debidas al peso de la mezcla y al gas en su interior.

En un primer momento, se construyó un biodigestor con un plástico negro, reciclado, que nos facilitó la empresa plásticos modernos. Éste plástico, no tenía la elasticidad requerida y se rompió con el simple hecho de intentar colocar la bolsa. En las fotografías de abajo, puede apreciarse el agujero (izquierda) y el intento de arreglo con cola para pegar zapatos (derecha).





Posteriormente, conseguimos una bolsa de polietileno transparente de calibre 8, con el que pudimos construir el biodigestor del que trata este proyecto.

4. Dado que la presión a la que sale gas es poco mayor que la presión atmosférica, el gas no puede ser quemado en una cocina convencional con reductores de presión. Por lo tanto, se ha de buscar una cocina que no tenga reductor de presión (normalmente, las cocinas portátiles). En nuestro caso, tuvimos que construir una cocina casera. Para ello, dimos forma redondeada a un tubo de cobre de 0,5cm de diámetro y le hicimos agujeros, por los que saliera el gas. En un primer momento, lo conectamos directamente a una de las salidas que hicimos en el biodigestor para realizar ensayos, y la presión fue tal, que salió una llamarada, por lo que, pusimos un reductor de presión “Regulator type SM888” con el que conseguimos que la presión del gas fuera la adecuada para la combustión en condiciones de seguridad. Véase fotografía.



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



## 8. ANEXOS

### ANEXO 1: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(pH estiércol fresco= 7,8)

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Peso masa bruta (total) (g)	150	250	150	250
	Tras 6h a 105 <sup>0</sup> C		Tras 7h a 105 <sup>0</sup> C	
Peso masa seca (g)	45,8	122,5	41	96,1
	Tras horno a 550 <sup>0</sup> C			
Peso cenizas (g)	5	13	9	14

Determinación de la humedad:

$$M_b = M_h + M_s$$

$M_b$ : masa total

$M_h$ : masa húmeda

$M_s$ : masa seca

$M_c$ : masa cenizas

Se determinan los porcentajes contenidos de masa húmeda que se pierde por evaporación tras el secado, y de masa seca

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$\%M_{rh} = M_h / M_b * 100$	$\%M_{rs}$	30,53	49,00	27,33	38,44
$\%M_{rs} = M_s / M_b * 100$	$\%M_{rh}$	69,47	51,00	72,67	61,56

Para la determinación de las cenizas, introducimos las muestras en un horno a 550<sup>0</sup>C

$$M_{sv} = M_s - M_c$$

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$M_{sv}$ (g)	40,8	109,5	32	82,1

Los pesos para los sólidos volátiles y las cenizas en base seca son:

$$\%M_{rsv} = M_{sv} / M_s * 100$$

$$\%M_{rc} = M_c / M_s * 100$$

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$M_{rsv}$	89,08	89,39	78,05	85,43
$M_{rc}$	10,92	10,61	21,95	14,57

## ANEXO 2: PRODUCCIÓN DE GAS. BIODIGESTOR MODELIZADO EN LABORATORIO

Con este ensayo, lo que buscamos es calcular la producción de gas promedio por Kg de mezcla (tantos ml de gas por kilogramos de sustrato).

- .-Botella 1L
- .-Llenamos 2/3 con mezcla de agua y estiércol= 0,7L
- .-Tomamos densidad del agua y del estiércol 1Kg/L
- .-Proporción mezcla 1(estiércol) vs 1,5 (agua)

Estiércol (Kg)	0,28
Agua(L)	0,42

Comenzamos el experimento a las 12 de la mañana del 11 de Noviembre  
Ponemos al baño maría a 37<sup>0</sup> C(Temperatura constante) la botella herméticamente cerrada en el baño maría y una sonda por la que saldrá el gas, el cuál mediremos gracias a un matraz lleno de agua y dado la vuelta. El gas producido irá desalojando el agua del matraz.  
Tomaremos diferentes medidas a lo largo de tres días

### Datos experimentales

El ensayo dura desde el 15 de noviembre a las 12 de la mañana hasta el 18 de noviembre a las 17:30 de la tarde.

pH mezcla= 7,8      T<sup>a</sup> ambiente 26,7 °C

	15/11/2011		16/11/2011	17/11/2011	18/11/2011	
	12:00:00(*)	15:00	18:00	16:20	9:00	17:30
marca matraz (mL)	76	96	108	154	184	206

(\*)comienzo del proceso. Marca de partida

De acuerdo con los datos experimentales, la producción total de gas en el transcurso de 41 horas ha sido de un total de 130 ml.

### ANEXO 3: PROPORCIÓN ÓPTIMA DE AGUA Y ESTIÉRCOL

Buscamos encontrar la proporción de agua y estiércol óptima que nos dé mayor producción de gas.

Para ello, escogeremos cuatro mezclas con proporciones distintas y en el laboratorio, las tendremos al baño maría un tiempo determinado.

Los elementos necesarios para el experimento son:

- .-Baño maría
- .-4 botellas de refresco de 1,5L de capacidad
- .-4 sondas de suero
- .-guantes de latex
- .-4 probetas de plástico
- .-bandas de pH
- .-soportes para las botellas y las probetas

pH agua= 7.9

$\rho$  agua= $\rho$  mezcla=1kg/L

	Disolución 1	Disolución 2	Disolución 3	Disolución 4
Volumen mezcla (L)	1	1	1	1,32
Proporción (excremento/agua)	1:1	1:2	1:3	1:4
Agua (mL)	500	670	750	1056
Excremento (g)*	500	333	250	264
pH mezcla	7,3	7,8	7,8	7,7

\*Tomamos como densidad del excremento la misma que el agua, para hacer la equivalencia de ml<>g

En la siguiente tabla se muestra la producción de gas después de 24 horas al baño maría, a temperatura constante de 37<sup>0</sup>C

	Disolución 1	Disolución 2	Disolución 3	Disolución 4
Biogas producido (mL)	124	42	24	34

A la vista de los resultados, concluimos que la proporción óptima es la disolución 1:1



#### **ANEXO 4: PRIMERA CARGA (22.12.2011)**

La primera carga en el biodigestor se llevó a cabo el 22 de Diciembre de 2012. Como se ha explicado en el documento, tras cálculos volumétricos para asegurar la estanqueidad de la bolsa, el volumen total con el que la teníamos que llenar era de 4300L

Se decidió que la proporción de agua y estiércol, no fuera de 1:1 dado que se dificultaba mucho la disolución, sino de 1.7L de agua por cada kg de estiércol (para simplificar los cálculos, tomamos que 1kg de estiércol era equivalente a 1Kg=1L de agua).

Por lo tanto, se introdujeron: 1600Kg de estiércol y 2700l de agua.

El estiércol, previamente medido en el laboratorio: poseía un 27% de contenido en sólidos, por lo que, el contenido en sólidos total dentro del biodigestor era de:

$(1600 \cdot 0.27) / (2700 + 1600 \cdot 0.73) = 11,1 \%$  de contenido en sólidos en el biodigestor.

# DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR CARAZO - NICARAGUA



## ANEXO 5: SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DEL BIODIGESTOR

22/12/11	Primera carga
07/01/12	No existe aún producción de gas Se descubre una fuga en el amarre de la bolsa con la tubería de entrada. Se soluciona con más hule de neumático
09/01/12	Biodigestor hinchado en un 40%
13/01/12	Biodigestor hinchado en un 70%
16/01/12	Biodigestor lleno y bolsa muy tensa
17/01/12	Se purga el biodigestor, porque el gas tiene mucho porcentaje de CO <sub>2</sub> y no combustiona. Se queda bastante vacío
18/01/12	Se echa la primera carga después de 27 días (tiempo de retención): 60L estiércol y 120L agua Laboratorio: Muestra I, masa húmeda=140,3g; 7,5 horas en horno a 105°; masa seca=1,8g Muestra II, masa húmeda=141,6g; 7, 5 horas en horno a 105°; masa seca=1,9g
21/01/12	Carga: 60Kg estiércol y 100L agua Tª biodigestor=29.4C(12:30)
23/01/12	Carga: 60Kg estiércol y 100L agua Tª biodigestor=28C (14:30) Experimento de llenado de rueda de camión, se llena en 15min
24/01/12	Construcción manómetro manual
25/01/12	Carga:20Kg estiércol y 40L agua Presión gas=746mmHg
26/01/12	Observaciones: Gas huele a azufre. Se consigue quemar en la cocina, pero con ayuda de la presión del propano residual Carga doble:120Kg estiércol y 200L agua pH salida=7,5 Tª ambiente=22,5C Presión gas=747mmHg
27/01/12	pH salida=7,3 Tª ambiente=24,7C Tªbolsa superf exterior=26,2C Presión gas=748mmHg Tomamos dos muestras de la salida del biodigestor, porque queremos comprobar el porcentaje de materia orgánica Las llevamos al laboratorio. Hacemos el experimento de la producción de biogas, tomando datos de presión cada 15 min, con el manómetro casero
28/01/12	pH salida=7,5 Tª ambiente=25,4C Tªbolsa superf exterior=27,7C Presión gas=748mmHg Observaciones: El biodigestor expulsa mucho compost, con olor porque hay muchas moscas alrededor, por lo que se decide no cargar, ya que, el olor indica que existe porcentaje de materia orgánica sin fermentar, lo que se traduce en que el tiempo de retención ha de ser más largo. Se intenta quemar gas en la cocina, pero una vez más, sólo se consigue gracias al residuo de propano en la tubería El gas huele menos a azufre que el día 26
29/01/12	pH salida=7,5 Tª ambiente=24,8C Tªbolsa superf exterior=25,3C Presión gas=748mmHg
30/01/12	Construimos un quemador rústico, con tubo de cobre, moldeado en forma de fogón y con agujeros para que salga el gas Calentamos por primera vez agua, con el metano directamente sacado del biodigestor pHsalida=7,5 Tª ambiente=24,8C Tªbolsa superf exterior=26,5C Observaciones: compost huele un poco, pero no hay moscas alrededor Se llena el biodigestor con 40Kg de estiércol y 20L de agua, porque como el compost expulsado es muy líquido, se decide echar menos agua para evitar el lavado de bacterias

## ANEXO 6: PRODUCCIÓN DE BIOGAS. MANÓMETRO CASERO.

Para medir la producción de biogas llevamos a cabo el siguiente experimento en el biodigestor: Medimos la temperatura en la superficie del biodigestor.

Abrimos la llave de purga durante diez minutos, con lo que el biodigestor se vacía parcialmente. Cerramos la llave de purga y tomamos medidas de la presión dentro del biodigestor en intervalos de 15 minutos, con el fin de averiguar la producción de biogas del mismo.

En la tabla siguiente se refleja la altura alcanzada por el agua dentro del manómetro manual construido específicamente para el experimento:

Tiempo (min)	0	15	30	45	60	75	90
Altura (cm)	5	6	6,4	6,8	6,8	6,4	6,8
Presión (Pa)	99149	99247	99286	99325	99325	99286	99325

Una vez conocida la altura que alcanza el agua dentro del manómetro, calculamos la presión a la que

corresponde, mediante la fórmula siguiente:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho: \text{Densidad agua} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ g: \text{aceleración de la gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2 \\ h: \text{altura [m]} \end{array} \right.$$

Patmosferica= 740mmHg= 98659 Pa

Para calcular la producción de biogas del biodigestor, lo haremos mediante la fórmula de los gases ideales:  $PV = nRT$

Tomaremos como constantes, el volumen del biodigestor y la temperatura del mismo.

T:  $T^a$  biodigestor=  $26,2^{\circ}\text{C} = 26,2 + 273 = 299,2\text{K}$

V: Volumen biodigestor=  $12,8\text{m}^3$

R: Constante universal de los gases:  $R = 8,314 \text{ Pa m}^3/\text{mol K}$

n: número de moles

Tiempo (min)	0	15	30	45	60	75	90
n	510,18	510,69	510,89	511,09	511,09	510,89	511,09
n/min		0,03	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01

Para calcular la producción de moles por minuto, dividimos la diferencia de moles entre cada pareja de intervalos, entre 15 minutos, que es el tiempo de cada intervalo



Dado que 1mol de gas ideal ocupa un volumen de 22,4L en condiciones normales, la producción de metros cúbicos por hora del biodigestor es:

m <sup>3</sup> /hora	0,05	0,02	0,02	0,00	-0,02	0,02
m <sup>3</sup> /día	1,08	0,43	0,43	0,00	-0,43	0,43

A la vista de los resultados, y no teniendo en cuenta los valores atípicos, podemos concluir que nuestro biodigestor, produce de media 0,5 metros cúbicos de biogás por día.

Resultado muy razonable si se tiene en cuenta que el biodigestor está en su fase inicial, en la que aún no se ha estabilizado la producción de biogás.



Figura 16: Manómetro casero construido para llevar a cabo la toma de medidas de presión dentro del biodigestor.



## ANEXO 7: PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DEL COMPOST

MUESTRA DE LA ENTRADA
Peso inicial 485,9g
Peso final 485,5g
Producción de gas=53mL

MUESTRA DE LA SALIDA
Peso inicial 488g
Peso final 488g
Producción de gas=40mL

Ponemos las muestras al baño maría en unas botellas de refresco cerradas (simulamos un biodigestor) a 37 °C durante 3h 20'.

A la vista de los resultados, concluimos que el compost expulsado por el biodigestor contiene aún demasiada materia orgánica(de ahí viene el olor que percibimos en la salida del biodigestor y las moscas revoloteando alrededor).

### CONCLUSIÓN:

El biodigestor tiene que ser cargado con menos frecuencia y en menor cantidad.

Se decide seguir las pautas siguientes:

.-Si no se usa, no se carga

.-Si se usa, se carga dos veces por semana: 20Kg de excremento(1 balde) y 40 litros de agua(2 baldes)

## ANEXO 8: PODER CALORÍFICO

Para calcular la capacidad calorífica del biogás, calentaremos agua durante un tiempo determinado, y mediante la diferencia de temperaturas entre el inicio y el final del proceso y con el caudal de gas aportado, obtendremos el calor que se absorbe en el proceso:

- *Experimento 1, hecho con reductor de presión:*

Tª inicial agua= 23,7 °C

Tª final agua= 57,8 °C

Tiempo de calentamiento= 10 minutos

Volumen agua= 500ml

- *Experimento 2, hecho con reductor de presión:*

Tª inicial agua= 23,7 °C

Tª final agua= 61,1 °C

Tiempo de calentamiento= 10 minutos

Volumen agua= 429ml

Tomamos como dato la capacidad calorífica del agua  $c = 4,184 \text{ J/g } ^\circ\text{C} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  y como densidad del agua 1Kg/L

Conociendo el calor específico (c) y la cantidad de sustancia (m), el incremento de temperatura ( $\Delta T$ ), nos indicará la cantidad de calor que se absorbe en el proceso:

Del experimento 1:  $q = m \cdot c \cdot \Delta T = 500\text{g} \cdot 1\text{cal/g } ^\circ\text{C} \cdot (57,8 - 23,7) ^\circ\text{C} = 17050 \text{ cal}$

Del experimento 2:  $q = m \cdot c \cdot \Delta T = 429\text{g} \cdot 1\text{cal/g } ^\circ\text{C} \cdot (61,1 - 23,7) ^\circ\text{C} = 16045 \text{ cal}$

El calor medio es  $(17050 + 16045) / 2 = 16547,5 \text{ cal}$

Necesitamos conocer el caudal del gas, para ello hacemos otro experimento: llenamos una botella de 1L de capacidad y tomamos medidas del tiempo que se tarda en llenar:

t1=20"

t2=19"

t3=21"

A la vista de los resultados, el tiempo medio de llenado es de 20"

Por lo tanto, en 10 minutos que ha sido el tiempo que hemos calentado el agua, hemos utilizado, 30L de gas, que nos han proporcionado un calor aproximado de 16548 cal. Si dividimos esta cantidad entre el volumen de gas utilizado, tenemos que  $16548 / 30 = 551,6 \text{ cal/L} = 551,6 \text{ Kcal/m}^3$



Sabiendo que el poder calorífico inferior (escogemos este porque trabajamos con el agua en estado vapor) del metano es  $9530\text{Kcal/m}^3$ , observamos que el poder calorífico útil de nuestro gas es muy bajo. De ello, sacamos las siguientes conclusiones:

1. Al estar muy al principio del proceso de digestión, hay un alto contenido de  $\text{CO}_2$ , lo que resta poder calorífico.
2. La eficiencia del quemador (hornillo construido de modo casero, con un tubo de cobre, como se ha explicado en capítulos previos) es muy baja y habría que mejorar su diseño.

## ANEXO 9: EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN (GRÁFICAMENTE)

En este anexo, el lector puede hacerse una idea de la evolución del proceso de digestión, teniendo en cuenta que la primera carga se hizo el día 22 de Diciembre de 2012 y que el biodigestor fue purgado en varias ocasiones hasta conseguir el biogas con el porcentaje necesario de metano para poder ser quemado.



10.01.2012



12.01.2012



13.01.2012



16.01.2012

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA



23.01.2012



31.01.2012

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA







## 9. REFERENCIAS

---

- [1][<http://www.redbiogas.cl/wordpress/preguntas-frecuentes/>]
- [2] Biomasa:digestores anaerobios, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ministerio de Industria, turismo y comercio. Octubre 2007.
- [3] Werner et al 1989
- [4]INFORMATION AND ADVISORY SERVICE ON APPROPRIATE TECHNOLOGY. GTZ PROJECT. Biogas digest. Volume I. Biogas Basics  
[<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume1.pdf>, 6 de Abril 2012]
- [5]RAMALHO, R.S. Introduction to Wastewater Treatment Processes. Academic Press, Second Edition
- [6]METCALF & EDDY, Inc. Wastewater Engineering. Collection Treatment disposal. Mc Graw Hill, 1973.
- [7]Digestión Anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos- El caso Perú
- [8]BTP, Boletín técnico porcino(Nº5, Mayo 2007): Biodigestores. Editado:Instituto de investigaciones porcinas
- [9] <http://www.redbiogas.cl/wordpress/preguntas-frecuentes/> (Abril 2012)
- [10]HENZE . Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes. Second Edition. Springer 1997.
- [11]<http://dev.aitasc.com/http://dev.aitasc.com/uncategorized/el-biogas-energia-obtenida-en-los-sistemas-de-aita/#more-257> (Marzo, 2012)
- [12]Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación. Jaime Martí Herrero.
- [13] López, 1998, Mayari, 1998)
- [14](Mata-Álvarez, 1987)
- [15] ONU, Indicadores internacionales de desarrollo humano, Informe 2011.
- [16]AECID,<http://www.aecid.es/es/donde-cooperamos/centroamerica-mexico-caribe/nicaragua.html>, Mayo 2012)
- [17] [ref <http://edutechno.org/2009/08/tecnologia-apropiada/>, 20 octubre 2012]
- [18]INFORMATION AND ADVISORY SERVICE ON APPROPRIATE TECHNOLOGY.  
GTZ PROJECT. *Biogas Digest. Volume I. Biogas Basics*.  
[<http://www5.gtz.de/gate/id/Download.afp?PubName=../publications/BiogasDigestVol1.pdf>, 12 de abril de 2004]
- [19] FELIPE-MORALES, C..MORENO, U.. *Primer Curso de Biodigestión. 14, 20 y 28 de julio de 2004*. Bioagricultura Casa Blanca (finca de producción, investigación y capacitación en agricultura ecológica y agroecoturismo). Lote 20 Parcelación Casa Blanca Pachacámac, Lima, Perú.
- [20] Digestión Anaerobia para el Tratamiento de Residuos Orgánicos: El Caso Peru  
[<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2716/2/36244-2.pdf>, 18 octubre 2012]
- [21] [[http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_desarrollo\\_limpio](http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_desarrollo_limpio)] (25 abril 2012)



[22][[http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia\\_tecnologia/2009/12/091125\\_copenhague\\_mapa\\_emisiones\\_jmp.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2009/12/091125_copenhague_mapa_emisiones_jmp.shtml)]

[23]Caracterización departamental de Carazo. Estudio de potenciales para emplazamiento de industria o terminal de transporte. Autores: Yahaira Conrado, Sunilda Meza, Horacio Zepeda.

[24]Caracterización del municipio de Jinotepe. Estudio de potenciales para emplazamiento de industria o terminal de transporte. Autores: Yahaira Conrado, Sunilda Meza, Horacio Zepeda.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR  
CARAZO - NICARAGUA

